

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO, TIPOLOGIA Y COMPARATIVA DE LOS ESQUEMAS
DE PUESTA A TIERRA ENTRE ESPAÑA Y POLONIA**

[Sergio Montero Jiménez]

DIRECTOR:

TUTOR: ESTEBAN PATRICIO DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ-SECO

FECHA: LEGANÉS A 30 JUNIO DE 2010

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia que durante todos estos años de mi vida universitaria no ha parado de darme todos esos apoyos, tanto económicos como anímicos que necesitaba para terminar mi carrera. Tampoco puedo olvidar ni a mi novia, que sin su apoyo en los momentos más difíciles no hubiera podido terminar este proyecto, ni a mis amigos, que siempre han intentado minimizar mis preocupaciones para que me sintiera mas aliviado y llevara mis problemas lo mejor posible.

En segundo lugar quiero dar las gracias a mi tutor de este proyecto fin de carrera, por esa ayuda al orientarme y aconsejarme de la forma que lo hizo, especialmente en la recta final.

También quiero dar las gracias a los siguientes profesores de mi universidad en Polonia:



Gracias por facilitarme toda la información sobre Polonia que sin su ayuda, no se hubiera podido realizar de la misma forma este proyecto, y agradecerles también el haberme pasado esta información en inglés para que yo pudiera realizarlo de la mejor forma posible.



INDICE

1. OBJETIVOS.....	5
2. BREVE HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD	6
2.1 Breve Historia de los Sistemas de Baja Tensión	8
2.1.1 Evolucion de los principios generales	9
2.2 Defectos en los aislamientos.....	9
2.2.1 Análisis de los peligros para las personas	10
2.2.2 Riesgos debidos a incendios	12
2.2.3 Riesgo de no disponibilidad de la energía	12
2.2.4 Contactos directos e indirectos	12
3. ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA (ECT's)	15
3.1 Evolución de las instalaciones eléctricas.....	15
3.1.1 Sistemas de conexión del neutro según normativa española e internacional.	16
4. PUESTA A TIERRA	22
4.1 Elementos que forman una puesta a tierra.....	22
4.2 Medida de la resistencia de puesta a tierra	23
4.2.1 Introducción	23
4.2.2 Naturaleza física de la resistencia de la tierra:.....	23
4.2.3 Método de medición:.....	27
4.2.4 Método de Caída de Potencial	28
4.2.5 La regla 62%	29
5. PROBLEMÁTICA DE LOS ECT's	30
5.1 ECT y perturbaciones de sistemas electrónicos.....	30
5.1.1 Frente a las corrientes de defecto	31
5.2 Protección frente a corrientes de defecto en los ECT	31
5.2.1 El esquema TN “puesta a neutro”	31
5.2.2 El esquema TT “neutro a tierra”	33
5.2.3 El esquema IT	34
5.3 Elección de un ECT	36
5.4 Soluciones de los “ECT”	37
5.4.1 La correcta elección	40
5.5 Naturaleza del aislamiento	41
5.5.1 La impedancia en modo común	41
6. ESQUEMAS DE LAS CONEXIONES A TIERRA EN EL MUNDO	42
6.1 Generalidades	42
6.2 Influencia del ECT en MT.....	42
6.3 ECT en BT	44

**Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra
entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]**



7.	COMPARATIVA DE LAS NORMATIVAS POLACA Y ESPAÑOLA	47
7.1	Normativas e historia.	47
7.2	Comparativa de la reglamentación Polaca y Española en base a la Normativa internacional IEC 60364.	52
7.2.1	Introducción	52
7.2.2	Diferencias en ámbitos de aplicación y peligros de las instalaciones eléctricas ..	54
7.2.3	Diferencias en protección contra corrientes de choque.	57
7.2.4	Diferencias entre las normativas en sistemas de muy baja tensión contra contactos directos e indirectos.	61
7.2.5	Diferencias en la interrupción de la alimentación entre normativas frente a contactos indirectos y protección contra los defectos.	64
7.2.6	Diferencias en puestas a tierra y conductores de protección	65
7.2.7	Diferencias en los ECT's en Corriente continua C.C.	76
7.3	Tipología en BT	84
8.	CONCLUSIONES	90
9.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	92
9.1.	Bibliografía	92
9.2.	Referencias	93



1. OBJETIVOS.

Este proyecto se enfoca en la oportunidad que me ha dado la estancia Erasmus en Polonia de investigar los Esquemas de Conexión a Tierra (ECT's) características, tipología y normativa pudiendo hacer una comparativa entre España y Polonia de los mismos.

Queremos saber que ECT usan más comúnmente en Polonia analizar su tipología de baja tensión y hacer un estudio de la normativa que rige a este país viendo las características comunes y diferentes entre ambos países.

Con todo esto se pretende tener una visión más amplia y detallada del uso de los ECT en el mundo y particularmente en Europa (España y Polonia) con sus características técnicas, normativas particulares y generales y el por qué de los mismos, añadiendo una pequeña carga de visión histórica que nos haga entender la creación de los mismos y sus objetivos principales.



2. BREVE HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD

1564 a 1603 William Gilbert redescubre los clásicos y experimenta con la atracción del ámbar. Llama "electricidad" (del griego elektron) al fenómeno observado

1672 Otto von Guericke desarrolla la primera máquina electrostática para producir cargas eléctricas

1733 François Cisternay du Fay descubre la existencia de dos tipos de electricidad

1745 Se fabrica en la Universidad de Leyden el primer sistema para almacenar electricidad estática

1747 Benjamín Franklin afirma que hay un solo tipo de electricidad que será positiva o negativa según se encuentre por exceso o por defecto

1747 William Watson transmite instantáneamente una carga eléctrica a una distancia de tres kilómetros

1750 Se hacen mejoras en la máquina de inducción de Otto von Guericke

1766 Joseph Priestley afirma que la fuerza entre cargas es inversamente proporcional a la distancia que las separa

1776 Charles Agustín de Coulomb mide la fuerza de atracción entre cargas y confirma la teoría de Priestley

1786 Luigi Galvani observa los efectos de las descargas eléctricas en los músculos de unas ranas

1796 Alessandro Volta construye el primer dispositivo para generar electricidad: la pila de volta. Aun necesitará unos años para su comercialización

1780 Presentación de la pila de Volta a la "Royal Society" de Londres

1795 Tiberius Cavallo escribe una historia de la electricidad en tres volúmenes

1801 Humphry Davy observa el arco eléctrico entre dos puntas intercaladas en un circuito de una pila de volta

1806 Davy empieza sus investigaciones en electroquímica



1812 Siméon D. Poisson publica un trabajo donde define matemáticamente las leyes de la electrostática y las primeras leyes que hacen referencia a la electricidad y al magnetismo

1820 Hans Christian Oersted demuestra que una corriente eléctrica genera un campo magnético.

1821 Faraday introduce el concepto de campo para describir una fuerza electromagnética.

1823 William Sturgeon construyen el primer electroimán

1823 Ampere demuestra que la fuerza electromotriz es el producto de la tensión eléctrica por la cantidad de corriente que atraviesa un conductor

1826 George Simon Ohm define la resistencia eléctrica y propone la ley que lleva su nombre

1826 Joseph Henry perfecciona los electroimanes, hace las primeras investigaciones en corriente alterna y construye un motor eléctrico

1831 Faraday construye un transformador y un motor eléctrico

1835 Samuel Morse construye el primer telégrafo eléctrico

1851 Ruhmkorff idea y construye la bobina de inducción

1855 Se inventa el timbre eléctrico

1866 Siemens, Wheatstone y Farmer patentan diversos motores eléctricos

1866 Zenobe Gramme inventa su dinamo con núcleo circular

1873 Exposición de la electricidad en Viena. Se presenta una dinamo Gramme movida por una máquina de vapor

1845 Starr y King fabrican una lámpara con filamento de carbón. Hacen una demostración pública pero no se comercializa

1848 Swan y Edison empiezan sus experiencias con filamentos carbonizados

1868 Se comercializan las primeras bombillas incandescentes

1879 Edison experimenta el primer sistema completo de iluminación eléctrica en Menlo Park



1881 Exposición de la electricidad en París y primer congreso de electricistas. Edison presenta su sistema

1882 Primera instalación comercial de iluminación pública en Pearl Street de Nueva York

1882 Gaulard y Gibbs patentan un transformador industrial de corriente alterna

1883 Nikola Tesla inventa un motor para corriente alterna y hace grandes avances en el campo de las corrientes alternas polifásicas

1885 George Westinghouse compra los derechos del transformador de Gaulard y Gibbs y proyecta un sistema con corriente alterna para hacer la competencia a Edison

1886 Primera instalación comercial en Buffalo de corriente alterna

1896 Primera gran instalación hidroeléctrica comercial utilizando las cataratas del Niagara.

2.1 Breve Historia de los Sistemas de Baja Tensión

Desde el siglo XVIII, la electricidad estática producida por la fricción de algunos organismos de aislamiento hace a muchos científicos desviar su atención ante tal suceso. Unos pocos experimentos peligrosos, de estos antiguos científicos, demostraron la naturaleza eléctrica del rayo y la peligrosidad de la electricidad para el ser humano. En 1880 y con el fin de transmitir la electricidad de corriente continua (CC) a lo largo de varios kilómetros, se demostró que un voltaje inferior a 100 V de tensión continua se puede tocar sin riesgo.

En cambio 1886 la instalación de la primera distribución eléctrica fue en los EE.UU de unos 12 Amperios y 500 Voltios de un generador de corriente alterna y 16 pequeños transformadores de abastecimiento de los consumidores con 100 V de corriente alterna (CA). Esto fue debido a que la corriente continua era muy difícil regular su tensión, pero debido a una nueva tecnología que se desarrolló en EE.UU con el transformador eléctrico de tensión, fue posible. En 1889 algunos científicos se postulaban a favor de la CA (Westinghouse) y otros con la CC (Edison), esta “guerra” siguió su curso dando lugar que, a finales del siglo XIX, la comunidad técnico-científica se pusiera de acuerdo en, que la corriente eléctrica era peligrosa para el hombre, y que la CA era más peligrosa que CC. Más tarde entre 1880 y 1920, la transmisión y distribución de energía eléctrica tuvo lugar en «unhearthed», es decir sin tierra en la mayoría de los países desarrollados en la época



La energía eléctrica se ha utilizado efectivamente a partir de 1900. Hoy en día las normas de instalación eléctrica están muy desarrolladas y abarcan todos los aspectos importantes para una instalación segura, esto es debido a que las compañías de estandarización han prestado particular atención a las medidas que deben aplicarse para garantizar la protección del personal y los bienes en las instalaciones eléctricas. Esta preocupación se ha traducido en la normalización de los tres sistemas de puesta a tierra.

2.1.1 Evolucion de los principios generales

Según las actuales normativas: IEC 60364, UNE 20 460 los esquemas de conexión a tierra (ECT), antiguamente llamados “régimenes de neutro” son:

- La puesta de neutro -TN-,
- El neutro a tierra -TT-,
- El neutro aislado (o impedante) -IT-.

Estos tres esquemas cumplen una labor principal que es el control de los efectos de un defecto de aislamiento. En un principio se consideran igual de seguros en cuanto a la seguridad de personas frente a contactos indirectos. Pero no son exactamente iguales si los miramos desde el punto de vista de la disponibilidad de la energía y el mantenimiento de la instalación. Estas labores principales actualmente son más exigentes en sectores como fabricas, del sector terciario o de servicios y en los que el control-mando de edificios y gestión de la distribución de la energía eléctrica son cada vez mas importantes para la gestión y seguridad de la instalación.

Esta evolución de las prioridades de seguridad no es independiente de la elección de un ECT ya que se puede hacer una analogía con la distribución de la energía en la que es una necesidad y un requisito básico de los derechos de los abonados, pues igual sucede con los ECT's.

2.2 Defectos en los aislamientos

Un factor esencial para garantizar la protección, seguridad para las personas y garantizar también la continuidad de la explotación es “aislar” los conductores o piezas con tensión respecto de las masas conectadas a tierra. El aislamiento se consigue a través de la utilización de materiales aislantes y de una separación física adecuada en un medio gaseoso como puede ser aire o SF6 .



Hay tres tipos de tensiones específicas que cumpliendo la reglamentación y normativa podemos aplicar a todas las cargas y “productos” de nuestra instalación en baja tensión (BT). En primer lugar tenemos la tensión de aislamiento (la tensión más elevada de la red), en segundo lugar podemos apreciar, según normativa, la tensión de resistencia a la descarga del rayo (onda 1,2; 50 ms) y en último lugar la tensión de resistencia a la frecuencia industrial (2 U + 1 000 V/1 min).

Durante y después de nuestra instalación de nuestro esquema de conexión a tierra puede sufrir deterioro y agresiones diversas con los que hace bajar su vida útil.

Cabe mencionar que si se utilizan los medios herramientas y materiales adecuados según la norma estos riesgos y deterioros bajan considerablemente aumentando por consiguiente la vida útil de la instalación. En efecto, la instalación sufre diversas agresiones que originan fallos de aislamiento, como por ejemplo, el deterioro mecánico de los aislantes de los cables, el polvo, más o menos conductor, el envejecimiento térmico de los aislantes debido al clima, armónicos, los esfuerzos electrodinámicos desarrollados durante un cortocircuito que pueden dañar un cable o disminuir la distancia de aislamiento y las sobretensiones de maniobra, de retorno afectando a la red de media tensión (MT). Normalmente es una combinación de varias de las causas anteriormente mencionadas.

2.2.1 Análisis de los peligros para las personas

Las personas o incluso los animales en contacto directo con dos elementos físicos con tensión se pueden electrificar si el nivel de tensión es muy alto y si no tiene las medidas suficientes según normativa para no electrificarse pueden sufrir, una molestia o dolor, una contractura muscular, una quemadura o una parada cardíaca (es decir, una electrocución) (*figura 1*).

Viendo las consecuencias que pueden sufrir las personas la seguridad debido a electrocución este, juega un papel prioritario en la seguridad de los ECT's con lo que es el primero en tenerse en cuenta para iniciar la instalación. Lo realmente peligroso -por su valor o por su duración- es la intensidad de corriente que atraviesa el cuerpo humano (especialmente el corazón).

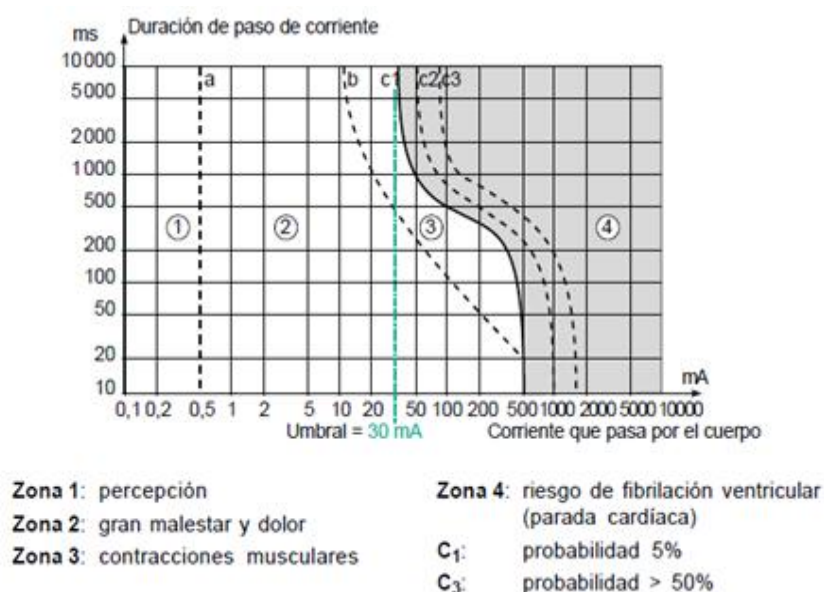


Figura 1: zonas tiempo/corriente de los efectos de la C.A. (de 15 a 100 Hz) sobre las personas según CEI-60479-1

En BT el valor de la impedancia del cuerpo y de la piel no cambia a efectos internos pero si con los factores externos como temperatura, humedad del ambiente....

Para cada uno de estos casos, se ha definido una tensión de seguridad (tensión de contacto máxima admisible durante al menos 5 segundos); en la norma CEI 60479, se llama tensión límite convencional UL.

Las normas CEI 60364, la UNE 20 460 precisan que, si la tensión de contacto (UC) tiene el riesgo de sobrepasar la tensión UL, la duración de la aplicación de la tensión de defecto debe de limitarse mediante la actuación de dispositivos de protección. (Figura 2).

■ Locales o emplazamientos secos o húmedos: $U_L \leq 50$ V

Tensión de contacto prevista (V)	< 50	50	75	90	120	150	220	280	350	500
Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección (s) ca	5	5	0,60	0,45	0,34	0,27	0,17	0,12	0,08	0,04
cc	5	5	5	5	5	1	0,40	0,30	0,20	0,10

■ Locales o emplazamientos mojados: $U_L \leq 25$ V

Tensión de contacto prevista (V)	25	50	75	90	110	150	220	280
Tiempo de corte máximo del dispositivo de protección (s) ca	5	0,48	0,30	0,25	0,18	0,10	0,05	0,02
cc	5	5	2	0,80	0,50	0,25	0,06	0,02

Figura 2: Duración máxima de la tensión de contacto según la norma CEI-60364

2.2.2 Riesgos debidos a incendios

Este riesgo, cuando se materializa, puede tener consecuencias dramáticas para las personas y para los bienes. Un buen número de incendios tienen su origen en un calentamiento importante y puntual o en un arco eléctrico provocado por un defecto de aislamiento. El riesgo es todavía más importante si la corriente de defecto es elevada. Es también función del grado de riesgo, de incendio o de explosión, de los locales.

2.2.3 Riesgo de no disponibilidad de la energía

El control de este riesgo tiene cada vez más importancia. En cualquier esquema de regímenes de neutro no se puede desconectar el circuito automáticamente debido a una falta por que pone en riesgo tanto para las personas, como por ejemplo, falta súbita de la iluminación o desconexión de equipos útiles para la seguridad.

Por último, al conectar la tensión, la aparición de sobretensiones y/o de fenómenos de radiación electromagnética pueden producir disfunciones y hasta el deterioro de equipos sensibles a estas anomalías

2.2.4 Contactos directos e indirectos

Antes de empezar el estudio de los ECT, es útil recordar la electrización por contactos directos e indirectos.

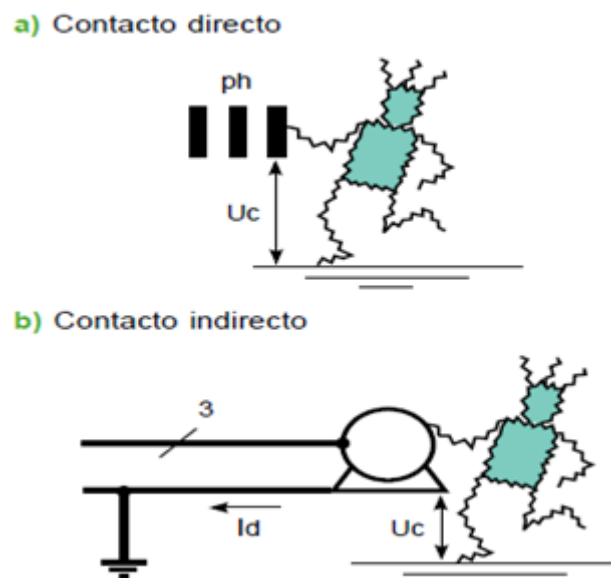


Figura 3: Duración máxima de mantenimiento de la tensión de contacto según la norma CEI-60364



2.2.4.1 Contacto directo y medidas de protección

Se trata del contacto accidental cuando una persona toca un conductor que esta en tensión el cual puede ser la fase o el neutro o con una parte conductora de corriente que habitualmente está con tensión (*figura 3a*).

Cuando el riesgo es muy elevado y no se encuentra una solución sencilla de aislarlo lo mas cómodo en este caso es bajar la tensión por debajo de los límites de seguridad en baja tensión, usando la muy baja tensión de seguridad y la muy baja tensión de protección.

En BT (230/400 V), las medidas de protección consisten en poner las partes activas fuera del alcance o aislarlas con la utilización de aislantes, envolventes o barreras.

Una medida complementaria, a la anteriormente mencionada contra los contactos directos consiste en utilizar los Dispositivos Diferenciales Residuales (DDR) de alta sensibilidad de 30 mA, llamados DDRAS, los cuales consisten en comparar la corriente entre conductores o fases y neutro, cortando el circuito al no ser iguales o con una diferenciar menor o igual a 30mA para el caso de los de alta sensibilidad.

La utilización de este tipo de dispositivos es necesaria en todos los casos de alimentación de circuitos cuyo ECT no se puede prever o controlar

2.2.4.2 Contactos indirectos, medidas de protección y de prevención

Este tipo de contacto es el contacto accidental de una parte metálica con una persona debido a una mala conexión de masas o es el resultado de un defecto de aislamiento debido a múltiples factores. (*figura 3b*). Cuando sucede el contacto indirecto aparece la llamada corriente de defecto provocando una elevación de la tensión entre la masa del receptor eléctrico y tierra; esta tensión puede resultar peligrosa si es superior a UL.

Frente a este riesgo, las normas de instalación –CEI 60364 a nivel internacional y la UNE 20 460 en España han oficializado tres esquemas de conexión a tierra –ECT– y han definido las reglas de instalación y de protección correspondientes, basándose en tres principios generales:

La conexión a tierra de las masas de los receptores y equipos eléctricos

La equipotencialidad de masas accesibles simultáneamente: la interconexión de estas masas contribuye eficazmente a reducir la tensión de contacto. Esto se hace mediante el conductor de protección (CP) que interconecta las masas de los materiales eléctricos para el conjunto de un edificio, eventualmente completada con conexiones equipotenciales adicionales (*figura 4*).

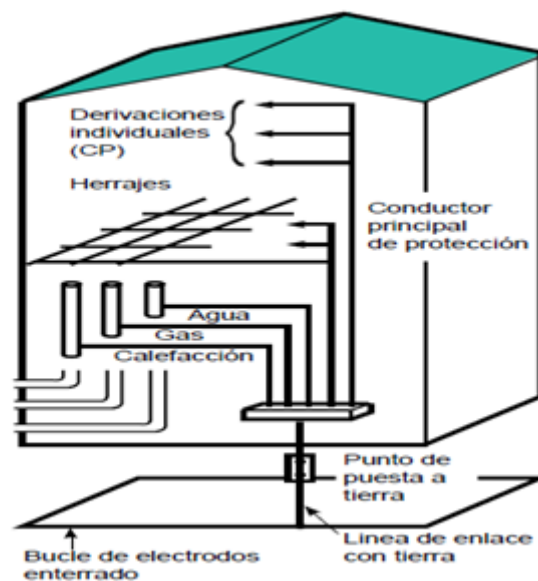


Figura 4: equipotencialidad de un inmueble

La gestión del riesgo eléctrico: Esta gestión se optimiza con la **prevención**



3. ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA (ECT's)

3.1 Evolución de las instalaciones eléctricas

En **1960**, el sector terciario estaba muy poco desarrollado. En el sector industrial o secundario, las instalaciones eléctricas estaban, normalmente, instaladas en las proximidades de las estaciones de generación. Por un decreto ley del 14 de noviembre de 1962 se empezó a usar, en el sector industrial, el neutro aislado debido al alto índice de seguridad que aporta este régimen. Más tarde, este decreto ley hizo que el legislador lo aplicase a instalaciones terciarias en donde la seguridad es primordial como por ejemplo en hospitales.

En **1990**, la energía eléctrica ya lo hace funcionar todo, tanto en viviendas como en el sector terciario y la industria. La distribución eléctrica experimentó grandes progresos en disponibilidad de la energía eléctrica, aunque todavía en esta época, no era suficiente o no estaba del todo bien instalada. Por este motivo aún era necesario usar grupos electrógenos en sectores donde era fundamental la continuidad de la energía. Más tarde se configuraría un mercado en las instalaciones eléctricas en que cada sector requería distintas necesidades. En general este mercado se podría resumir en que el sector de la vivienda no acepta los cortes de corriente, el terciario es un importante consumidor de informática y la industria se instala en zonas rurales, la cual es una gran consumidora de automatismos y cada vez utiliza más convertidores estáticos y aparatos «inteligentes» controlados por sistemas de gestión técnica (proceso distribución eléctrica-utilidades del edificio).

Varias culturas tecnológicas, incluyendo la informática repartida, suponen que han de Co-habitar con débiles y elevadas corrientes. Es en este momento, donde aparece un nuevo campo de estudio en las instalaciones eléctricas la llamada, compatibilidad electro-magnética o CEM. Es precisamente en este momento, en donde aparece un choque entre varias culturas tecnológicas. El electricista está incómodo por los armónicos generados por los convertidores estáticos, dichos armónicos provocan el recalentamiento de los transformadores, la destrucción de los condensadores y corrientes anormales en el neutro. El electrónico pone filtros delante de sus productos, pero no siempre resisten a las sobretensiones y hacen bajar el aislamiento de las redes. El fabricante de lámparas ignora los problemas que pueden ocasionar las corrientes de puesta en tensión, los armónicos y las altas frecuencias generadas por ciertos balastos electrónicos. Y el informático (ídem para los proyectistas de sistemas de inteligencia repartida) se inquieta por la equipotencialidad de las masas y de los parásitos conducidos y radiados. A dichos especialistas les resulta a veces difícil hacerse comprender, no disponen necesariamente de exposiciones coherentes... y son muy pocos los que conocen los ECT, sus ventajas y los inconvenientes acerca de la evolución de las tecnologías anteriormente mencionadas.



Actualmente, tal como se definen en la CEI60364 y en la UNE 20 460 los esquemas de conexión a tierra (ECT), que durante mucho tiempo se han llamado «regímenes de neutro», son tres:

- 1) La puesta a neutro -TN-**
- 2) El neutro a tierra -TT-,**
- 3) El neutro aislado (o impedante) -IT-.**

Estos tres esquemas tienen una misma finalidad en cuanto a la protección de personas y bienes: el control de los efectos de un defecto de aislamiento. Se consideran equivalentes en cuanto a la seguridad de personas frente a contactos indirectos. Pero no es necesariamente así para la seguridad de la instalación eléctrica de BT en lo que se refiere a:

- 1) La disponibilidad de la energía**
- 2) El mantenimiento de la instalación**

3.1.1 Sistemas de conexión del neutro según normativa española e internacional.

Las normativas tanto española del reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT) en sus instrucciones técnicas complementarias para baja tensión (ITC-BT) como la normativa internacional, en concreto según la IEC 60364, dicen que para la determinación de las características de las medidas de protección contra choques eléctricos en caso de defecto (contactos indirectos) y contra sobre intensidades, así como de las especificaciones de la paramenta encargada de tales funciones, será preciso tener en cuenta el esquema de distribución empleado. Estos esquemas de distribución se establecen en función de las conexiones a tierra de la red de distribución o de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro.

La denominación se realiza con un código de letras con el significado siguiente, y que es común para toda Europa:

La primera letra: se refiere a la situación de la alimentación con respecto a tierra:

T = Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.

I = Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.

Segunda letra: Se refiere a la situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra:

T = Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.

N = Masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, este punto es normalmente el punto neutro).

Otras letras (eventuales): Se refieren a la situación relativa del conductor neutro y de conductor de protección:

S = Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados.

C = las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN).

Esquema TN

Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen tres tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

Esquema TN-S: En el que el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema

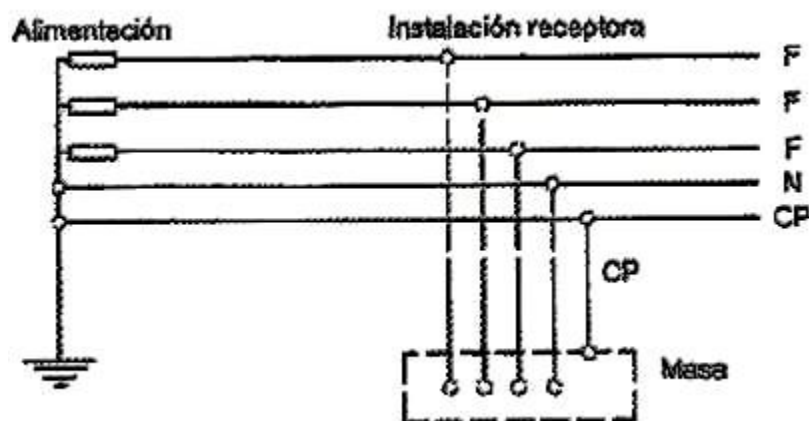


Figura 5: Esquema de distribución tipo TN-S

Esquema TN-C: En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema

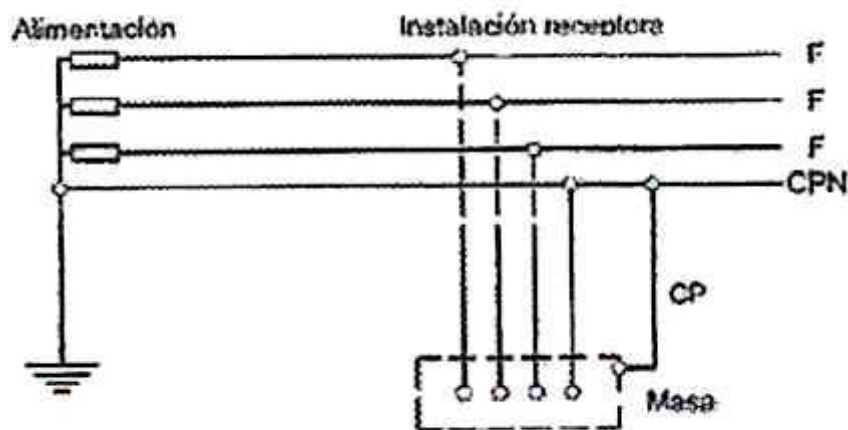


Figura 6: Esquema de distribución tipo TN-C

Esquema TN-C-S: En el que las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en una parte del esquema

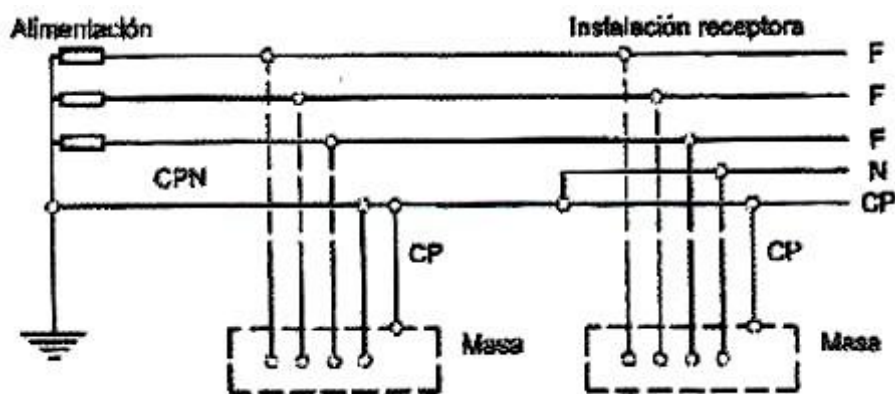


Figura 7: Esquema de distribución tipo TN-C-S

En los esquemas TN cualquier intensidad de defecto franco fase-masa es una intensidad de cortocircuito. El bucle de defecto está constituido exclusivamente por elementos conductores metálicos.

Esquema TT

El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las Masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación (figura 4).

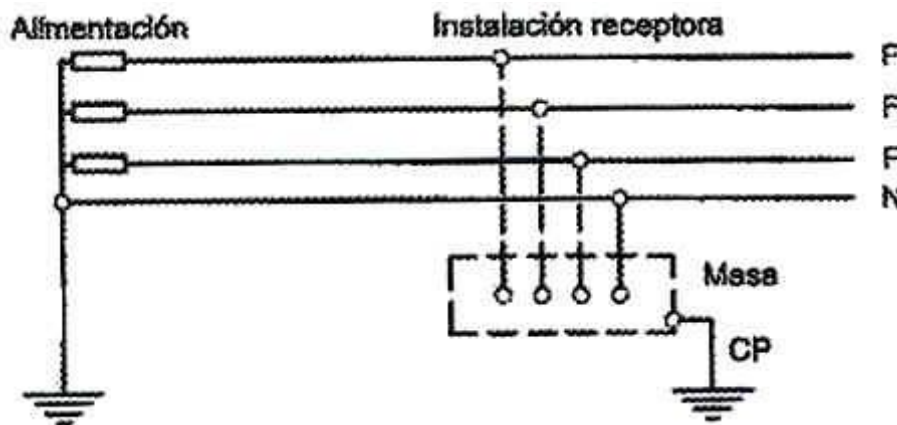


Figura 8: Esquema de distribución tipo TT

En este esquema las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra pueden tener valores inferiores a los de cortocircuito, pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

En general, el bucle de defecto incluye resistencia de paso a tierra en alguna parte del circuito de defecto, lo que no excluye la posibilidad de conexiones eléctricas voluntarias o no, entre la zona de la toma de tierra de las masas de la instalación y la de la alimentación. Aunque ambas tomas de tierra no sean independientes, el esquema sigue siendo un esquema TT si no se cumplen todas las condiciones del esquema TN.

Esquema IT

El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra (figura 5).

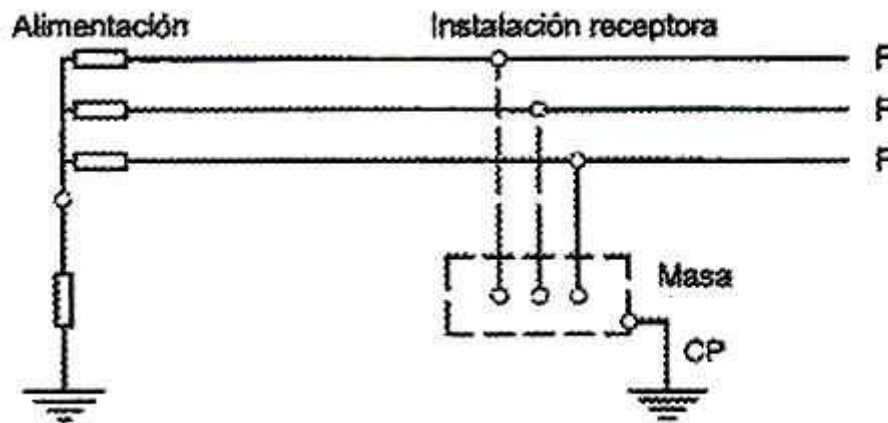


Figura 9: Esquema de distribución tipo IT

La limitación del valor de la intensidad resultante de un primer defecto fase-masa o fase tierra se obtiene bien por la ausencia de conexión a tierra en la alimentación, o bien por la inserción de una impedancia suficiente entre un punto de la alimentación (generalmente el neutro) y tierra. A este efecto puede resultar necesario limitar la extensión de la instalación para disminuir el efecto capacitivo de los cables con respecto a tierra.

En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el neutro.



3.1.2. Aplicación de los tres tipos de esquemas según normativa española ICT-BT

La normativa española dice que la elección de uno de los tres tipos de esquemas debe hacerse en función de las características técnicas y económicas de cada instalación. Sin embargo, hay que tener en cuenta los siguientes principios:

- a. Las redes de distribución pública de baja tensión tienen un punto puesta directamente a tierra por prescripción reglamentaria. Este punto es el punto neutro de la red. El esquema de distribución para instalaciones, receptoras alimentadas directamente de una red de distribución pública de baja tensión es el esquema TT.
- b. En instalaciones alimentadas en baja tensión, a partir de un centro de transformación de abanado, se podrá elegir cualquiera de los tres esquemas citados.
- c. No obstante lo dicho en a), puede establecerse un esquema IT en parte o panes de una instalación alimentada directamente de una red de distribución pública mediante el uso de transformadores adecuados.



4. PUESTA A TIERRA

La **puesta a tierra** es una unión de todos elementos metálicos que, mediante cables de sección suficiente entre las partes de una instalación y un conjunto de electrodos, permite la desviación de corrientes de falta o de las descargas de tipo atmosférico, y consigue que no se pueda dar una diferencia de potencial peligrosa en los edificios, instalaciones y superficie próxima al terreno .

4.1 Elementos que forman una puesta a tierra

A los elementos que forman el conjunto de una puesta a tierra los podemos clasificar de la siguiente forma:

- **Tierra.** Necesitamos un terreno que será capaz de disipar las energías que pueda recibir.

- **Toma de tierra.** Esta es la zona que queda enterrada en el terreno elegido, consta de las siguientes partes:

- Electrodos o pica: Parte metálica enterrada
- Línea de enlace con tierra: Conductor conectado a los electrodos
- Punto de puesta a tierra: Parte que une la línea de enlace a tierra con la línea principal

- **Instalación de puesta a tierra.** Esta es la parte que se encarga de conectar toda la línea eléctrica a los puntos de puesta a tierra, queda en la parte exterior del terreno y consta de las siguientes partes:

- Línea principal de tierra: Conductor principal que conecta toda la instalación.
- Derivaciones de la línea principal de tierra: Conductor que junto a la línea principal conecta toda la instalación.
- Conductores de protección: Conductores que se distribuyen por todos los puntos que son necesarios unir a tierra.



4.2 Medida de la resistencia de puesta a tierra

4.2.1 Introducción

El sistema de tierra es un elemento esencial para el sistema eléctrico de seguridad y es necesario para:

- Permitir la activación de los dispositivos de protección cuando hay un defecto de aislamiento eléctrico.
- Ecualizar el potencial de las piezas conductoras que se puede acceder de manera simultánea, con el potencial de la tierra circundante, a fin de evitar que las personas sean expuestas a voltajes peligrosos.
- Permitir que el rayo de energía se disipe en condiciones de seguridad.
- Reducir las interferencias electromagnéticas.

Debido al hecho de que se trata de un sistema diseñado para garantizar la seguridad, su eficacia debería ser verificada. La difusión del valor de resistencia es el parámetro más relevante para poner a prueba un sistema de suelo de calidad y la capacidad para llevar a cabo su función. Sin embargo, la correcta medición de este parámetro necesita cumplir varios requisitos, que serán analizados mas tarde.

4.2.2 Naturaleza física de la resistencia de la tierra:

La comprensión de la tierra, la resistencia física natural nos ayudará a evaluar las condiciones que deben cumplirse para obtener una correcta medición.

Según su definición, las resistencias de dos terminales y su resistencia se define como el cociente de la tensión aplicada sobre los terminales y la circulación actual entre ellos como consecuencia de esa tensión.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Ecuación 1

El valor de la resistencia R depende del tipo de material (resistividad) y sus dimensiones físicas (superficie y longitud de la resistencia), como se muestra en la *Figura 10*.

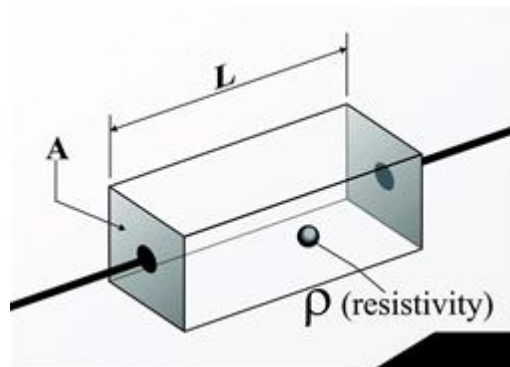


Figura 10.

Sólo uno de los terminales es evidente en la resistencia de la tierra. Con el fin de encontrar el segundo terminal se debe recurrir a su definición: **la Resistencia de la Tierra es la resistencia que existe entre la electricidad accesible por un electrodo enterrado y otro punto de la tierra, que está muy lejos.**

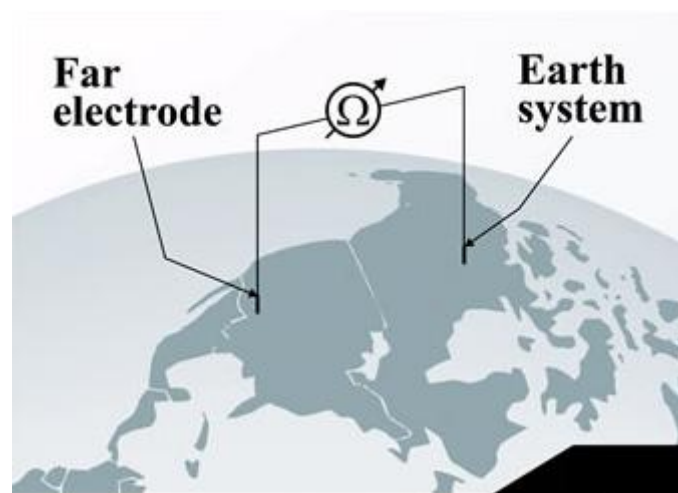


Figura 11

La idea es que alrededor del volumen de la tierra cerca de un electrodo enterrado, a través de una corriente inyectada, todo el planeta es el volumen equipotencial relacionado con la corriente. Cualquier punto de volumen equipotencial puede ser considerado como el segundo electrodo de la resistencia de tierra.

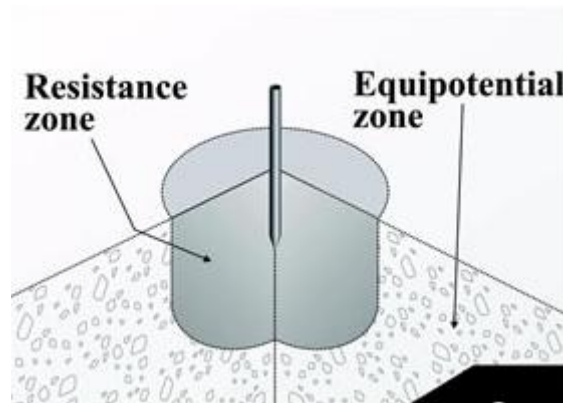


Figura 12

Con el fin de justificar la declaración anterior, vamos a analizar geoméricamente la resistencia en la zona del electrodo enterrado que, en el siguiente ejemplo, se supone es semiesférica

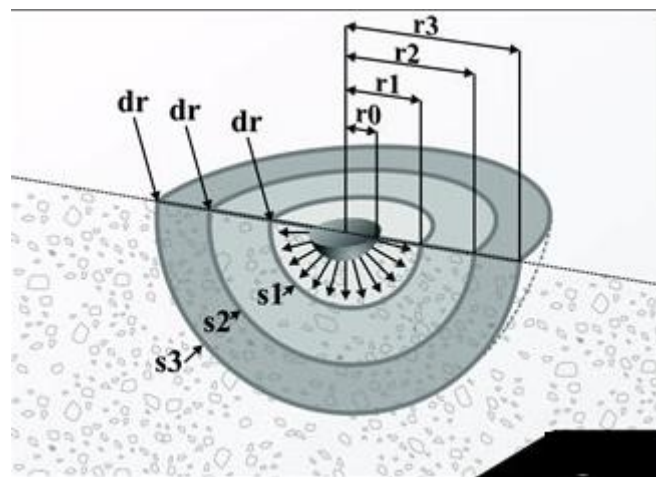


Figura 13

La corriente que se inyecta en la tierra a través de los electrodos enterrados sale en todas direcciones, con una densidad uniforme (suponiendo que el terreno sea homogéneo eléctricamente), y posteriormente debe pasar a través de las distintas capas que se ilustran en la figura 13.



Cada capa ofrece una resistencia al paso actual, que es proporcional a la resistividad del terreno y la capa de espesor e inversamente proporcional a la capa de la zona, de acuerdo con la ecuación 1.

La resistencia total es la suma de muchas pequeñas resistencias en serie. El espesor se define arbitrariamente como lo suficientemente delgado como para examinar tanto las superficies de la capa de la misma zona (requisito necesario para aplicar ecuación 1).

Realmente, el espesor es infinitesimal y la suma de las resistencias es un integrante donde r_0 es el radio del hemisferio enterrado.

Con el fin de permitir una más fácil visualización física del fenómeno, nos podemos imaginar la estructura de una cebolla, formada por un gran número de capas muy delgadas, cada una de las cuales representa una de las resistencias de la serie.

El concepto importante que se observa es que, desde el terreno de resistividad se suponía que iba a ser homogénea y el espesor de las capas es el mismo, el único elemento que se modifica (aumenta), a medida que desaparece el electrodo de la superficie, es de la capa. En la figura 4, se puede observar que la superficie S3 es mucho más grande que la superficie S1. Cuando la superficie aumenta, la resistencia disminuye en la misma proporción y, por tanto, la contribución hecha por las capas remotas a la resistencia total tiende a ser insignificante.

Cálculos de un electrodo hemisférico muestran que en la región más cercana, a una distancia equivalente a 10 veces el radio del electrodo, en el 90% del total se concentra la resistencia. En otras palabras, la resistencia de las capas situadas fuera de este ámbito no es significativa. Y como no hay resistencia, no hay caída de potencial. Bien. En consecuencia, fuera de la región más cercana al electrodo (llamado zona de resistencia), toda la tierra está en el mismo potencial.

4.2.3 Método de medición:

Con el fin de medir la resistencia de puesta a tierra, tenemos que aplicar un voltaje entre sus terminales que provoca la circulación de una corriente a través de él. Uno de los terminales es el sistema de acceso a tierra en contacto con E. La segunda, de acuerdo con la definición, es cualquier otro punto de la tierra, que realmente está *muy lejos* de la primera. Con el fin de llevar a cabo la medición, debemos clavar un electrodo auxiliar H en ese punto. El segundo electrodo tendrá inevitablemente su propia tierra, la resistencia y la zona de resistencia. Si nos fijamos en la *figura 14*, veremos que:

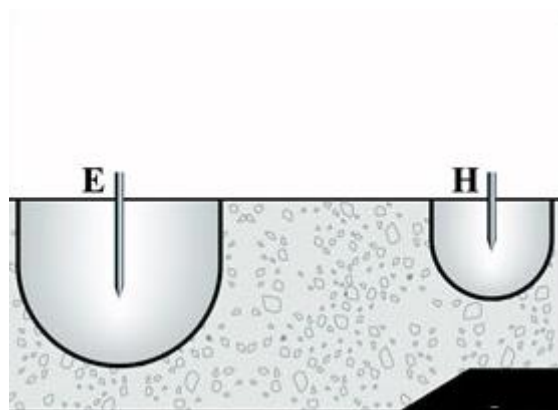


Figura 14

1. Nuestro objetivo es medir la resistencia de la tierra del electrodo E. Sin embargo, si una resistencia de medición convencional entre los puntos E y H se lleva a cabo mediante la medición de la tensión y la corriente circulante, se obtiene la suma de la resistencia de la tierra de ambos electrodos y no la resistencia de tierra del electrodo E. La diferencia puede ser muy importante puesto que, debido a su propia condición de auxiliar de electrodos, las dimensiones de H son muy pequeñas en comparación con E, por lo que su contribución a la resistencia total puede ser muy importante y la probabilidad de un error es considerable.

2. El concepto de "*lejos*", utilizado anteriormente sin hacer más precisiones, es ahora aclarado. De hecho, se puede considerar que el electrodo auxiliar H está lo suficientemente lejos del sistema de resistencia de la tierra que se mide cuando sus respectivas zonas de resistencia no se solapan. En tal caso, todo el volumen que queda fuera de las zonas de resistencia está, muy aproximadamente, en el mismo potencial, lo que hace posible el desarrollo del siguiente método de medición.

4.2.4 Método de Caída de Potencial

Un tercer electrodo S se utiliza con el fin de evitar el error introducido por la resistencia de tierra del electrodo de H, la vara S se ubicó en cualquier punto fuera de las zonas de influencia de E y H, dando como resultado una geometría similar a la mostrada en la *figura 15*

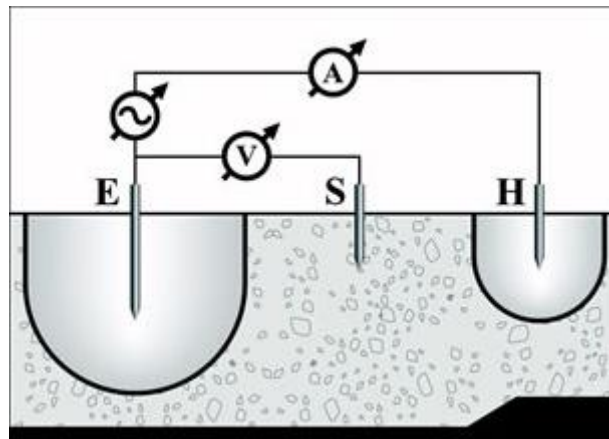


Figura 15

Este acuerdo se conoce como caída de Potencial y el método es el más comúnmente utilizado para la medición de la resistencia de la tierra, en la que la separación de las zonas de resistencia se obtiene con un grado razonable de distancias entre los electrodos. La corriente circula a través del sistema terrestre E y el electrodo auxiliar H, y la tensión se mide entre E y el tercer electrodo S. Esta tensión es la caída de potencial que la corriente de prueba produce en la resistencia del sistema terrestre, R_x , que en esta forma se puede medir sin ser afectada por la tierra, la resistencia de la varilla H.

4.2.5 La regla 62%

Muchas publicaciones que hacen referencia al Método de caída de potencial indican que, con el fin de obtener una medida correcta, los tres electrodos deben estar bien alineados y la distancia entre E y S debe ser el 61,8% de la distancia entre E y H (*Figura 16*). Este concepto proviene de un cuidadoso desarrollo matemático para el caso particular de un electrodo hemisférico.

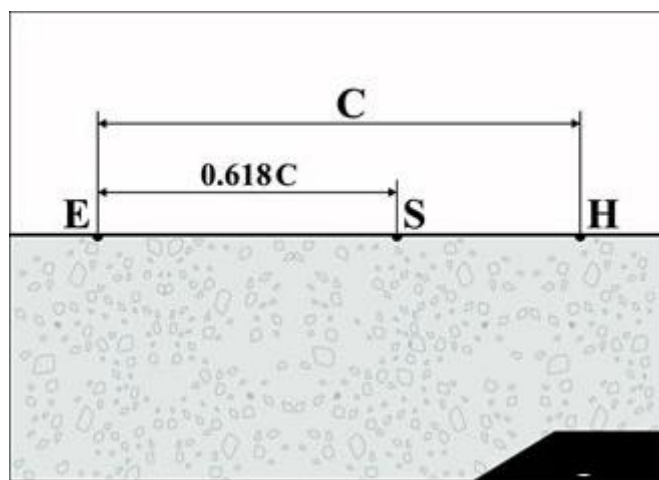


Figura 16

Sin embargo, esta configuración no es fácil de aplicar en la vida real. El primer problema al que se enfrenta es que la geometría de la tierra real es compleja y difícil de asimilar con un hemisferio con el fin de determinar con precisión su centro, a partir del cual las distancias se pueden medir con precisión suficiente. Además, en las zonas urbanas es difícil encontrar lugares donde colocar las barras, y es raro que haya lugares disponibles que coincidan en su posición con los requisitos de la regla del 62% (en relación a la alineación y las distancias).

Afortunadamente, usando los mismos cálculos del método anterior podemos derivar otra geometría, que es más fácil de aplicar. Considere la posibilidad de unir E y H con la línea recta que cruza ese segmento en su punto medio y que es perpendicular al segmento mencionado. Al colocar el electrodo en cualquier punto de la línea recta los valores medidos de la resistencia se sitúan entre 0,85 y 0,95 del valor real de la resistencia de la tierra del electrodo. Luego, multiplicando el valor medido por 1,11 de la resistencia a tierra correcta se obtiene el valor, con un error inferior a $\pm 5\%$. También se observó que a medida que el voltaje del electrodo se aleja del segmento de EH, la zona en la que el valor medido se encuentra dentro del rango indicado de la tolerancia pasa a ser más amplio, con lo que el método pasa a ser más tolerante a los cambios en la posición de la tensión en el electrodo.



5. PROBLEMÁTICA DE LOS ECT's

5.1 ECT y perturbaciones de sistemas electrónicos

Las perturbaciones electromagnéticas son alteraciones en los esquemas de conexión a tierra debido a fuertes campos electromagnéticos externos a estos y que pueden alterar el funcionamiento normal de los mismos, pueden ser de varios tipos:

- Permanentes u ocasionales,
- Baja o alta frecuencia,
- Conducidas o radiadas,
- De modo común o diferencial,
- De origen externo o interno a la red BT.

Por consiguiente los ECT también se eligen en base a:

- La sensibilidad ante las perturbaciones,
- La generación de las perturbaciones,
- Los efectos sobre los sistemas de pequeñas corrientes.



5.1.1 Frente a las corrientes de defecto

Las corrientes de defecto se pueden clasificar de dos tipos:

- Cortocircuitos: Para evitarlos se separan o aíslan los conductores activos lo suficiente para no crear una ICC, si no es así, la ICC crea, por el bucle así realizado, un impulso eléctrico que puede dañar componentes de la instalación y otro electromagnético que altera el funcionamiento normal del resto del circuito.

- Defecto a masa eléctrica: El PE debe seguir lo más cerca posible a los conductores activos, o mejor, estar en el mismo cable multi-conductores, si no aparecerá el efecto de bucle emisor.

Este efecto es tanto o más importante cuanto más elevada sea la corriente de defecto; como ventaja frente al ECT TT, los ECT TN e IT (2º defecto) pueden desarrollar corrientes

1 000 veces más importantes. En TN y en IT hay que evitar conectar el PE a las masas metálicas en diferentes sitios en el edificio ya que las corrientes de retorno pueden tomar caminos variados y transformarse en antena emisora. En lo que hace referencia a la equipotencialidad de las masas, el TN y el IT (al 2º defecto) son equivalentes ya que el potencial de la masa en el punto de defecto sube brutalmente hasta $\approx U_0/2$ mientras que en el origen de la instalación queda a 0 V.

Todo esto conduce a algunos especialistas a prescribir en TN y en IT la realización de un circuito de masa baja corriente separado del circuito de tierra (PE), estando ambos conectados a la toma de tierra en el origen de la instalación BT.

El TT con PE distribuido en toda la instalación es el mejor desde este punto de vista (Id pequeña y misma referencia de potencial para todos los equipos comunicantes), (*figura 5*)

5.2 Protección frente a corrientes de defecto en los ECT

5.2.1 El esquema TN “puesta a neutro”

El cual consiste en que el neutro y el conductor de protección están separados aguas abajo de una parte de una instalación hecha en TN-C. Hay que indicar que el TN-S no puede estar aguas arriba del TN-C.

Un defecto de aislamiento en una fase se convierte en un cortocircuito y la parte de la instalación con defecto se desconecta mediante un Dispositivo de Protección Contra Cortocircuitos “DPCC”.

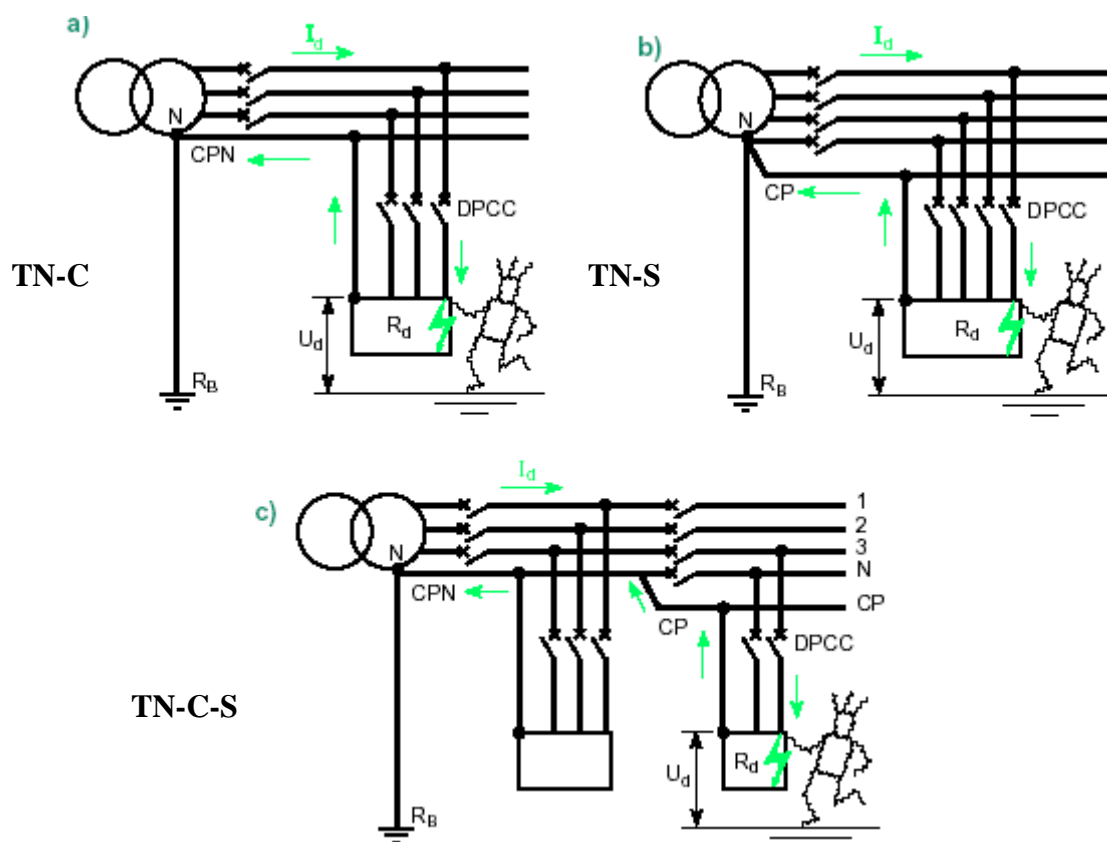


Figura 17: Defecto de aislamiento en los ECT

5.2.2 El esquema TT “neutro a tierra”

La corriente de defecto de aislamiento está limitada por la impedancia de las tomas de tierra. La protección queda asegurada por los dispositivos de corriente residual “DDR”, la zona con defecto se desconecta en cuanto la corriente de defecto sobrepasa el umbral de disparo del DDR colocado aguas arriba.

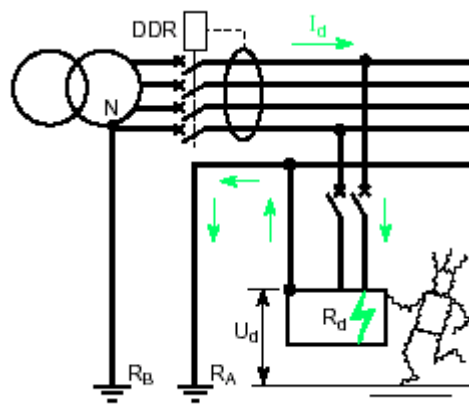


Figura 18: Trayectoria de la corriente de defecto de aislamiento en el TT



5.2.3 El esquema IT

- Si se produce un primer defecto de aislamiento, se desarrolla una pequeña corriente debido a las capacidades parásitas de la red. La tensión de contacto que aparece en la toma de tierra de las masas de algunos voltios, no representa ningún peligro.
- Si se presenta un segundo defecto de aislamiento en otra fase, cuando todavía no ha sido eliminado el primero, las masas de los receptores afectados pasan al potencial producido por la corriente de defecto en los conductores de protección “CP” que los interconecta. La protección queda asegurada por los “DPCC” (caso de masas interconectadas mediante el CP) o por los “DDR” (caso de masas que tengan tomas de tierra distintas).

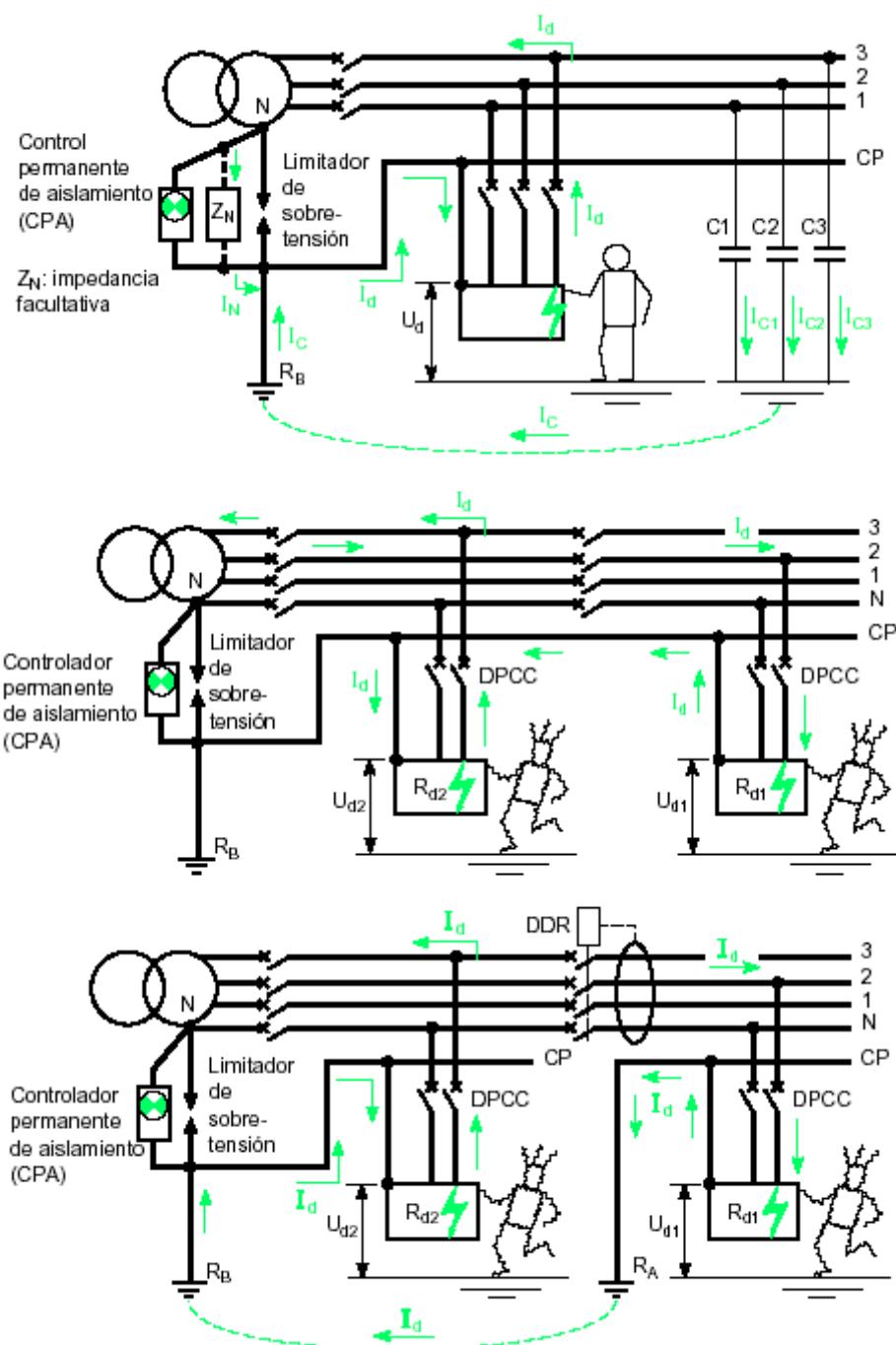


Figura 19: Trayectoria de la corriente de defecto de aislamiento en el IT



5.3 Elección de un ECT

Los tres “ECT” mundialmente utilizados y normalizados por la CEI 60364 tienen como objetivo la búsqueda de la mayor seguridad posible. Los tres esquemas de conexión son equivalentes, si se respetan todas las reglas de instalación y utilización.

Aunque los tres esquemas de conexión a tierra ofrecen el mismo grado de seguridad, sólo el esquema “IT”, permite continuar sin riesgo la explotación, al aparecer un primer defecto de aislamiento. Pero esta ventaja tiene ciertas exigencias y precauciones como son la necesidad de buscar el primer defecto y la posibilidad de que aparezcan sobretensiones que puedan afectar el funcionamiento de los receptores sensibles.

Se puede mencionar que también pueden coexistir los tres “ECT” en una misma instalación eléctrica, lo que es una garantía de poder obtener la mejor respuesta a las necesidades de seguridad y de disponibilidad de servicio. Además, se tiene que escuchar al usuario para conocer sus exigencias y sus medios, la necesidad de continuidad en el servicio, si el servicio es atendido o no y el riesgo de incendio.

Sin embargo, la elección del ECT de una instalación también depende, de la seguridad de las personas, de la continuidad del suministro y de otros factores:

- **El entorno :** (por ejemplo, locales con riesgo de incendio o emplazamientos con caídas frecuentes de rayos).
- **La compatibilidad electromagnética :** (presencia en la instalación de armónicos y de campos radiantes y la sensibilidad de los equipos a estos fenómenos).
- La calidad y el costo del mantenimiento.
- Lo extenso de la instalación.



5.4 Soluciones de los “ECT”

No existe una solución única y mejor para todas las instalaciones si no que tendremos que estudiar cual es la el factor principal a cubrir en cada tipo de instalación. Si nos fijásemos en la continuidad en el servicio y servicio atendido la solución sería el ECT IT. En cambio para un servicio no atendido pero con la misma continuidad en el servicio ahora mismo no hay una solución totalmente satisfactoria.

Si eligiéramos el TT, con el cual la selectividad al disparo es más fácil de instalar y que minimiza los daños respecto al TN, con el cual además tendríamos que diferenciar con que configuración quedarnos dependiendo de nuestras necesidades. En este ECT las ampliaciones son fáciles de hacer (sin cálculos). Por ejemplo para una continuidad en el servicio no obligatoria y con servicio de mantenimiento competente nos decantaríamos por el TN-S. (reparación y extensiones rápidas) pero para una continuidad en el servicio no obligatoria y sin servicio de mantenimiento erigiríamos el TT. En cambio si nuestra actividad industrial puede suponer un riesgo de incendio el más adecuado es el IT, que si hay servicio de mantenimiento y se emplea “**DDR**” de 0,5 (A).

Además se debe de tener en cuenta las especificaciones de la red y de los receptores, en las cuales para redes muy extensas o con una gran corriente de fuga tendríamos que preferir TN-S para una utilización de alimentaciones de emergencia y de socorro, el TT, para receptores sensibles a grandes corrientes de defecto como por ejemplo motores, elegiríamos el TT o el IT. Y por ultimo para receptores con bajo aislamiento natural (hornos) o con filtros de HF importantes (grandes ordenadores) el TN-S y para alimentación de sistemas de mando y control el IT si es con continuidad en el servicio, pero si buscamos mejor una mejor equipotencialidad de los aparatos de comunicaciones el TT sería la mejor opción.

La elección del ECT deberá verse influenciada por los usuarios de energía eléctrica y por los explotadores de la red (el servicio eléctrico). La experiencia indica que la elección la hace sobre todo la oficina de proyectos, diseñadora de la instalación.

Para el usuario y el explotador

El usuario y el explotador exigen la seguridad total, la energía eléctrica debe estar siempre disponible y no presentar ningún riesgo, o sea, «olvidarse de ella».

Los componentes de la seguridad de la instalación son:

- la seguridad,
- la disponibilidad,
- la mantenibilidad debiendo ser óptimas.

Además, y esto es nuevo, la electricidad no debe perturbar a los numerosos equipos de pequeñas corrientes. Éstos son los criterios que permiten hacer la mejor elección en función del tipo de edificio, de la actividad que se desarrolla en él y de la presencia o no de un servicio eléctrico



En términos de seguridad, el mejor es el TT.

En términos de disponibilidad, el mejor adaptado es el IT.

En términos de mantenibilidad, la localización del defecto es rápida en TN (acción del DPCC) pero el tiempo de reparación es normalmente elevado. A la inversa, en IT la localización del primer defecto puede ser más difícil pero la reparación más rápida y más barata. El TT es una buena elección.

En términos de fiabilidad, los materiales de protección aplicados son fiables, pero la fiabilidad de la instalación y de los receptores puede verse afectada:

- en TN-C por el hecho de que el PEN, no protegido, puede estropearse por las corrientes armónicas;
- en TN-C y TN-S: por la falta de rigor tras extensiones, por la aplicación de fuentes de sustitución de baja potencia de cortocircuito y por los efectos de los esfuerzos electrodinámicos (ICC).
- en IT, en caso de doble defecto, también se dan los riesgos propios del TN expresados anteriormente, pero si la localización y la eliminación del primer defecto se hace rápidamente, la fiabilidad de la instalación es muy buena,
- en TT, por la descarga en el retorno de los receptores debida a un defecto en el transformador MT/BT, pero la posibilidad de aparición (ocurrencia) de este defecto es muy baja y se dan muestras de conexión y valor de las tomas de tierra.



En términos de perturbaciones, el TT es preferible frente al TN-S, en el que las elevadas corrientes de defecto pueden ser perturbadoras. La tabla de la *figura 9* repasa los puntos fuertes y débiles de cada ECT.

Para el proyectista de la instalación, el estudio es más sencillo en TT, ídem tras una ampliación (sin cálculo); es de una complejidad equivalente tanto en TN-S como en IT. En el terreno de costes:

- **la instalación del TN-S es la más barata**; por ejemplo, si el neutro ni está cortado ni protegido, pero cuidado con el coste del mantenimiento-reparación,
- **la instalación del IT** es un poco más cara (material de control de aislamiento y localización de defecto). La búsqueda de la mejor disponibilidad de la energía eléctrica exige tener un electricista para minimizar la reparación.
- **la instalación del TT** es un poco más cara que la del IT, sobre todo si se instalan en número suficiente DDR selectivos, pero la localización del defecto es sencilla y la reparación menos costosa que en TN. En términos de coste total en 10 ó 20 años, los tres ECT son equivalentes.

5.4.1 La correcta elección

En cierto número de países, para algunos edificios o parte de ellos, la elección la impone el legislador o el normalizador, por ejemplo: hospitales, escuelas, marina, minas, canteras, ... En otros casos, hay ECT que están prohibidos; por ejemplo, el TN-C en locales con riesgo de explosión.

	TN-C	TN-S	TT	IT(1)	IT(2)	Observaciones
Seguridad						
■ de personas	+	+	+	++	-	Uc # 0 al 1 ^{er} defecto en IT
■ incendio	--	-	+	++	-	TN-C desaconsejado
■ explosiones	--	-	+	++	-	TN-C prohibido
Disponibilidad (tras 1 ^{er} defecto)	+	+	+	++	+	función de la selectividad de DPCC o de DDR (más fácil de aplicar)
Mantenibilidad	-	-	+	++	-	IT permite el mantenimiento preventivo, ver predictivo
Fiabilidad	-	+	++	++	+	ventaja a Id bajas (averías de la instalación - esfuerzos electrodinámicos)
Perturbaciones						
■ emisión de radiación EM	-	-	+	++	-	ventaja a Id bajas
■ equipotencialidad del PE	--	+	++	+	+	atención a los armónicos en TN-C

(1): 1^{er} defecto de aislamiento
(2): 2^o defecto

Figura 20: Parametrización de los ECT

Exceptuando estas «imposiciones», los objetivos encaminados hacia la SEGURIDAD (seguridad, disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad y buen funcionamiento de los sistemas comunicantes de bajas corrientes) son los que permitirán determinar cuál es el ECT idóneo para un determinado tipo de edificio. El nivel de desarrollo de un país también es un criterio a tener en cuenta, así como las costumbres nacionales, el clima.... Si se traza un eje norte-sur, en lo que hace referencia a la distribución pública, se encuentra el ECT IT en Noruega, TN-C en Alemania, TT en Francia y en la mayor parte de los países de África. En los países templados e industriales, los tres ECT se utilizan en las instalaciones privadas. Por último, hay que resaltar que es posible mezclar los ECT (en serie o en antena) y además es deseable.



5.5 Naturaleza del aislamiento

5.5.1 La impedancia en modo común

Toda red eléctrica presenta una impedancia respecto a tierra que se denomina “**impedancia de modo común**”, cuyo origen está en el aislamiento de los cables y de los receptores de la red. Esta impedancia se compone de la resistencia y la capacidad de fuga entre cada conductor activo y tierra.

En BT, la resistencia de fuga de un conductor es, para una fase y por kilómetro, del orden de 10 MΩ, mientras que su capacidad, uniformemente repartida respecto a tierra, es, aproximadamente de 25 μF, o sea, 12,7 k a 50 Hz.

Por otra parte, hay que destacar que en MT y en AT esta capacidad de fuga es todavía más importante y debe de ser necesariamente tomada en cuenta al efectuar los estudios de un plan de protección. También los receptores tienen una capacidad natural de fuga, que suele ser despreciable.



6. ESQUEMAS DE LAS CONEXIONES A TIERRA EN EL MUNDO

6.1 Generalidades

En todos los países industrializados, las redes y receptores BT está puestos a tierra por razones de seguridad frente al peligro que representa la corriente eléctrica para las personas. Los objetivos son siempre los mismos:

- Fijar el potencial de los conductores activos respecto a la tierra, en funcionamiento normal,
- Limitar la tensión entre las masas de los materiales eléctricos y tierra, en caso de defecto de aislamiento,
- Instalar dispositivos de protección que eliminen el riesgo de electrización, incluso de electrocución de las personas,
- Limitar los incrementos de potencial debidos a los defectos de origen MT.

6.2 Influencia del ECT en MT

Si los tres primeros objetivos anteriormente citados pertenecen al campo de los ECT BT, el cuarto hace hincapié en que la AT puede tener incidencias no despreciables en la seguridad de las personas y de los bienes en BT. Así, a nivel de estaciones MT/BT, un defecto fase MT/masa, o entre los arrollamientos MT y BT, puede suponer un peligro para los materiales y usuarios de una red BT.

En MT pública o industrial, salvo en casos especiales, el neutro no está distribuido y no hay conductor de protección (PE) entre las estaciones o entre estación y receptor MT. Así, un defecto fase / tierra se traduce en una corriente de cortocircuito monofásica limitada por la resistencia de las tomas de tierra y la presencia eventual de impedancias de limitación (generador homopolar).

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



La tendencia actual, en los diferentes países, va orientada hacia la limitación de las corrientes de defecto homopolares de las redes MT; que permite tener una mejor continuidad de servicio (disponibilidad de electricidad) autorizando el no corte tras defecto temporal y el poder conectar o no las masas de la estación MT/BT y las del neutro BT para evitar riesgos a los usuarios y a los materiales BT.

La CEI 60 364-4-4-442 indica que el esquema de las conexiones a tierra en una estación MT/BT debe ser tal que la instalación BT no esté sometida a una tensión, respecto a tierra, de $U_o > 250 \text{ V}$ durante más de 5 segundos ó $U_o > 1200 \text{ V}$ durante menos de 5 segundos.

Esto significa que los diversos equipos conectados a la red BT deberán poder soportar esta condición (*figura 21*). La misma norma indica que si $R_p > 1 \Omega$, la tensión debe ser eliminada, por ejemplo:

- En menos de 500 ms para 100 V.
- En menos de 100 ms para 500 V.

País	ECT MT de las masas	Conexiones	Observaciones
Alemania 10 y 20 kV	aislado o compensado $I_d < 60 \text{ A}$	conectados si $I_d \times R_T < 250 \text{ V}$	$R_p < 2 \Omega$ ó 5Ω
Australia 11 y 12 kV	directo a tierra $I_d = \text{algunos kA}$	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 10 \Omega$
Bélgica 6,3 y 11 kV	impedancia de limitación $I_d < 500 \text{ A}$	separadas $d \geq 15 \text{ m}$	$R_p < 5 \Omega$
Francia 20 kV	impedancia de limitación	separadas excepto si R_T	
	aéreo $I_d \leq 300 \text{ A}$	$< 3 \Omega$	$R_p < 30 \Omega$
	subterráneo $I_d \leq 1000 \text{ A}$	$< 1 \Omega$	$R_p < 1 \Omega$
Gran Bretaña 11 kV	directo o impedancia de limitación, $I_d < 1000 \text{ A}$	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 25 \Omega$
Italia 10-15 y 20 kV	aislado $I_d \leq 60 \text{ A}$ (más en realidad)	separadas	$R_p < 20 \Omega$
Irlanda 10 y 38 kV	aislado en 10 kV compensado en 38 kV $I_d < 10 \text{ A}$	separadas excepto si $R_T < 10 \Omega$	obliga la manera de realizar R_p
Japón 6,6 kV	aislado $I_d < 20 \text{ A}$	conectadas $R_T < 65 \Omega$	
Portugal 10 a 30 kV	impedancia de limitación	separadas excepto si $R_T < 1 \Omega$	$R_p < 20 \Omega$
	aéreo $I_d \leq 300 \text{ A}$		
	subterráneo $I_d \leq 1000 \text{ A}$		
USA 4 a 25 kV	directo a tierra o por baja impedancia $I_d = \text{algunos kA}$	conectadas	las tierras de la estación fuente, de la MT/BT y del neutro BT están conectadas

Figura 21: Valores característicos de la influencia de MT en BT en el mundo



Si este no es el caso, R_p y R_n deben ser distintas, sea el que sea el ECT BT. Esta regla, no siempre respetada en algunos países, lleva normalmente a la separación de las dos tomas de tierra (para redes MT que tengan una elevada corriente de defecto homopolar). Si todas las tomas de tierra (estación neutro-utilizaciones) sólo forman una, se observa un aumento del potencial de las masas BT que puede ser peligroso.

La tabla de la *figura 21* da algunos ejemplos relativos a la distribución pública en el mundo. Muestra que, en muchos países, las tomas de tierra de la estación y del neutro deben ser separadas si su resultante no es inferior a 1Ω .

Para las redes MT industriales, el ECT IT impedante es el que se emplea más corrientemente. El «generador homopolar» suministra una corriente resistiva del orden de 2 veces la corriente capacitiva de la red (Cuaderno Técnico nº 62), y permite la utilización de DDR para asegurar la protección por desconexión del ramal en defecto.

6.3 ECT en BT

Los transformadores utilizados son, por regla general, Dy 11 (triángulo/estrella); sin embargo hay que señalar que para la distribución pública en USA y en Japón se emplea la distribución monofásica con punto medio

La gran mayoría de los países aplican o se inspiran en la norma CEI 60 364 que define los ECT TN, IT y TT así como las condiciones de protección; lo mismo para la distribución pública como privada.

- **En distribución pública**

Los regímenes más empleados son el TT y el TN; algunos países, principalmente Noruega, utilizan el régimen IT. La tabla de la *figura 22* expone algunos ejemplos relativos a la distribución pública (abonados BT). En dicha tabla se muestra que los países anglosajones utilizan sobre todo el TN-C, mientras que el resto del mundo emplea el TT.

El TN-C precisa una costosa búsqueda de la equipotencialidad:

- Para el repartidor en USA, instalación suplementaria de un conductor a lo largo de toda la distribución MT y BT con puesta a tierra cada 400 m,
- en Gran Bretaña, se instalan múltiples tomas de tierra en el neutro de la red BT pública, lo que permite al abonado no tener su propia toma de tierra,

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



País	ECT BT	Observaciones
Alemania 230/400 V	TN-C y TT	El TN es el más empleado; R_T debe ser $< 2 \Omega$ toma de tierra en casa del abonado, igual en TN
Bélgica 230/400 V	TT	$R_u < 100 \Omega$ DDR 30 mA para las tomas de corriente
España 230/400 V	TT	$R_u < 800 \Omega$ con DDR 30 mA en cabecera de la instalación
Francia 230/400 V	TT	$R_u < 50 \Omega$, (100 Ω aproximadamente) DDR 30 mA para las tomas de corriente
Gran Bretaña 240/415 V	TN-C y TT	Nuevas instalaciones en TN-C (el 15 % de ellas en TN-C), la toma de tierra ($< 10 \Omega$) del neutro la suministrada por el distribuidor
Italia 230/400 V	TT	DDR con $I_{\Delta n}$ función de R_u ($I_{\Delta n} < 50/R_u$) Para abonados sin toma de tierra: DDR 30 mA
Japón 100/200 V	TT	$R_u < 100 \Omega$, empleo extendido de DDR 30 mA no se busca la equipotencialidad
Noruega 230/400 V	TT	Locales en materiales aislantes y malas tomas de tierra explican esta elección; empleo de DDR 30 mA en señalización y disparo del disyuntor de conexión si hay 2 defectos
Portugal	TT	$R_u < 50 \Omega$ (100 Ω a partir de 1995)
USA 120/240 V	TN-C	Puesta del neutro a tierra en casa del abonado BT (todas las tomas de tierra están conectadas hasta la estación fuente)

Figura 22: Ejemplos relativos a la distribución pública ECT-BT

En este sentido las instalaciones en vivienda pública de España lo hacemos con el esquema TT mientras que en Polonia usan el TN-C como el más empleado y la toma de tierra en casa del abonado generalmente a simple vista se puede ver el cable de conexión a tierra en la mayor parte de los edificios antiguos en Polonia, debido a que el frío allí hace que la resistencia eléctrica baje mucho y se mantengan en los valores óptimos, es decir por debajo de 2Ω .

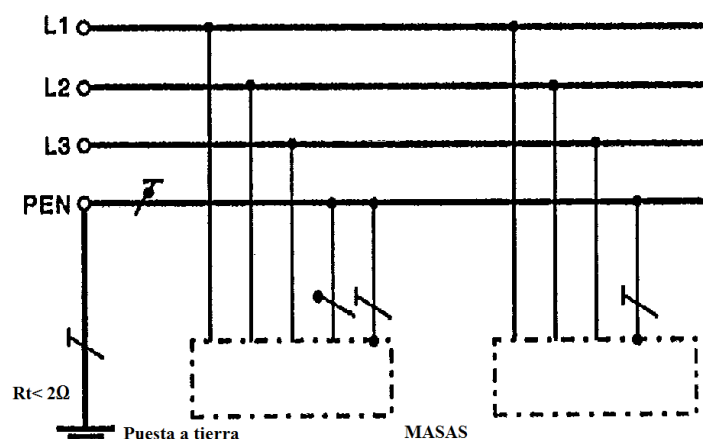


Figura 23: ECT en Polonia, TN-C

Los dos países utilizan una tensión de 230/400V en distribución pública, como la gran mayoría de los países europeos la diferencia reside en que España la resistencia máxima de la instalación tiene que ser menor de 800Ω y que tiene que tener en cabecera de todas las masas un DDR de 30mA debido a las características del TT. En cambio Polonia no regula esta resistencia y si la de tierra que tiene que ser menor de 2Ω , esta diferencia deriva en la resistencia a tierra ya que en Polonia y debido a su clima más adverso y extremo el valor de la resistencia puede variar mucho con lo que tiene que estar muy controlado sobretodo en invierno.

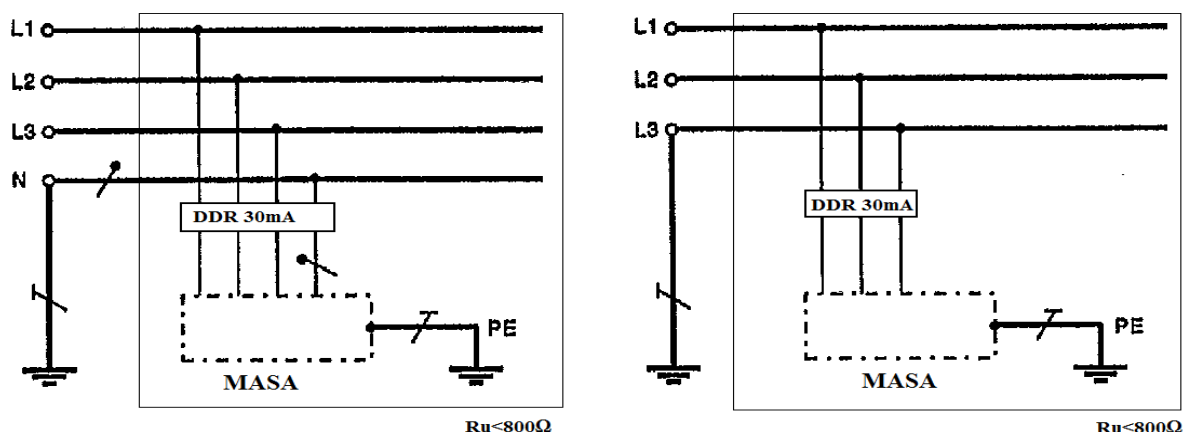


Figura 24: ECT en España, TT tetrapolar y tripolar

Como ya sabemos, en España, las mediciones de la resistencia a tierra se hace, por lo general cuando está más seco debido a que la resistencia aumenta por la temperatura y al menos una vez al año, pero en Polonia se debe de hacer al menos 2 veces una en invierno y otra en verano.



7. COMPARATIVA DE LAS NORMATIVAS POLACA Y ESPAÑOLA

7.1 Normativas e historia.

El Reglamento Electrotécnico Español para baja tensión (REBT) contempla la problemática general de las instalaciones eléctricas, definiendo condiciones de seguridad, sistemas de distribución, clases de materiales, formas de instalación, características de instalaciones especiales y, en general, reglamenta todo lo que se refiere a instalaciones de baja tensión.

Por su singularidad o especiales características también analiza y prescribe con mayor detalle sobre determinadas instalaciones eléctricas, como por ejemplo en cuartos de baño, locales de pública concurrencia, locales de espectáculos, locales de reunión, establecimientos sanitarios, locales con riesgo de incendio o explosión, locales húmedos, locales mojados, locales corrosivos, locales polvorientos, locales con alta temperatura, locales con muy baja temperatura, locales para acumuladores, estaciones de servicio, garajes, talleres de reparación de vehículos y otros, instalaciones para piscinas, instalaciones de aparatos médicos y rayos X.

Estas instalaciones complementan las instrucciones generales de instalación, las cuales, por su carácter general, no pueden entrar en las particularidades de cada caso concreto. El REBT ha sido un buen documento de trabajo y consulta, pero hay que situarlo en la fecha de su publicación, a finales de 1973. En aquel entonces, la publicación del actual REBT fue realmente una ruptura, un acto de valentía técnica y una gran visión de futuro, ya que se pasó de un reglamento de 31 páginas, publicado en 1955, transcripción prácticamente literal de un reglamento de 1933, a un reglamento de más de 300 páginas, con un alto contenido técnico.

Han pasado muchos años y las cosas han cambiado mucho. Las tecnologías y los materiales han evolucionado considerablemente. Por ello, y por Real decreto de 2002 se acordó la revisión de REBT obteniendo el actual Reglamento.



Por otra parte ahora existe un mercado único europeo (UE) que potencia la libre circulación de personas y tecnologías y cuyo gran objetivo es eliminar barreras de todo tipo, técnicas y humanas. Bajo este contexto, el CEN (Comité Europeo de Normalización) y para lo específicamente electrónico, el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Eléctrica) está elaborando normas europeas (EN) y documentos de armonización (HD) que, por su carácter europeo y de acuerdo con la filosofía de eliminación de barreras técnicas, son de obligada adopción para todos los países de la UE, debiendo incorporarlos estos países en su normativa nacional, retirando simultáneamente toda norma nacional que esté en conflicto con una norma europea.

Dentro de este marco, lo que está prevaleciendo en los diferentes países europeos es legislar sobre las condiciones que han de cumplir las instalaciones eléctricas, mediante decretos o reglamentos que recogen básicamente los aspectos legales, remitiendo para lo específicamente técnico a las normas correspondientes (EN o HD) en el cual España es un claro ejemplo pero caso diferenciador es el de Polonia que no lo hace por decretos si no que en vez de decretos y reglamentos Polonia se dedica exclusivamente a traducirlos a su idioma.

En lo que hace referencia a las instalaciones de baja tensión (BT), el CENELEC está desarrollando una fuerte actividad en la redacción de normas europeas y documentos de armonización. Así, tomando como base la norma internacional **CEI 364 - Instalaciones Eléctricas en Edificios o IEC60364** está publicando normas EN y documentos HD que inciden directamente en muchas instrucciones técnicas, modificándolas del actual REBT.

En España, las distintas partes de la norma CEI 364, convenientemente elaboradas por el Grupo de Trabajo **GT 64: instalaciones eléctricas en edificios**, se están publicando bajo la referencia **UNE 20.460 - Instalaciones Eléctricas en Edificios**. Las diferentes partes de la norma CEI 364 (nomenclatura europea) o IEC60364 (nomenclatura internacional) se están armonizando por el CENELEC y se publican bajo la referencia HD 384. que no son más que modificaciones de esta para nuestro país.

Las diferentes partes de la norma española UNE-20.460 hacen referencia explícita al documento HD correspondiente. La norma CEI 364/HD 384 (UNE20.460) analiza y prescribe condiciones de instalación y de seguridad, establece criterios de elección de materiales e ilustra sobre su correcto uso y aplicación en todo tipo de instalaciones de B.T.



Los documentos CEI 364/HD 384/UNE 20.460 están configurados en siete partes, como sigue:

- 1. Campo de aplicación, objeto y definiciones.
- 2. Principios fundamentales.
- 3. Determinación de las características generales.
- 4. Protección para asegurar la seguridad.
- 5. Elección, instalación y puesta en servicio de los materiales eléctricos.
- 6. Verificación en la puesta en servicio.
- 7. Reglas para las instalaciones eléctricas en emplazamientos especiales.

Las diferentes partes de la indicada norma se están publicando en España a un buen ritmo y en este momento se dispone ya de un amplio conjunto de documentos normativos CENELEC, publicados como norma española.

Este nuevo reglamento hace referencia en muchos puntos a la norma europea o documentos de armonización (Instalaciones Eléctricas en Edificios CEE 364/HD 384/UNE 20.460). Este es el motivo por el que es interesante para el técnico español (proyectistas, instaladores, etc.) tener información sobre esta normativa europea, ya que al quedar abierta la libre circulación de personas y materiales, pueden venir técnicos de otros países a hacer proyectos en el nuestro y, si estos proyectos cumplen las referidas normas europeas, se deberán aceptar. Asimismo, para que un técnico español realice cualquier trabajo en un país comunitario, deberá conocer y cumplir estas normas EN o documentos HD

Actualmente, tal como se definen en la CEI 60364 y en la UNE 20.460 los esquemas de conexión a tierra (ECT), que durante mucho tiempo se han llamado «régimenes de neutro», son tres:

- la puesta a neutro -TN-,
- el neutro a tierra -TT-,
- el neutro aislado (o impedante) -IT-.

En España aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002, se aprobó el **reglamento electrotécnico para baja tensión**, Instrucción Técnica Complementaria **ITC-BT-01 a ITC-BT-51**, los cuales son un intento de armonizar y cumplimentar las normativas anteriormente citadas en nuestro país. Para la realización de este proyecto se han comparado concretamente la **ICT-BT-08, ICT-BT-18, ICT-BT-24, ICT-BT-25, ICT-BT-26 y ICT-BT-36** que son las normativas a tratar, las cuales se basan en normativa europea UNE y los documentos de normalización **HD** realizados por el **CENELEC**. Para la realización de este proyecto se ha basado en su mayoría en las normas **UNE20460** y **HD384** en lo que se refiere a la parte española, que a su vez la adoptan de la **IEC60364** pero modificándola para nuestro país.



Por otro lado el primer trabajo de normalización en Polonia se llevó a cabo a principios del siglo 20 en el sector electrotécnico y los campos de la ingeniería. En 1923, el Consejo de Ministros creó un comité técnico, que se convirtió en el Comité Polaco de Normalización en 1924. Las Normas de Polonia eran voluntarias y se refería a los productos industriales y sus exigencias de entrega. En 1945, se restableció el Comité. Se sometieron a reorganizaciones posteriores y se convirtió en el Comité Polaco de Normalización y Medidas (en 1972) y el Comité Polaco de Normalización, Medidas y Control de Calidad – PKN-MiJ (en 1979). Todas las normas de Polonia eran obligatorias en ese momento. En 1993, PKN-MiJ fue disuelto y el Comité Polaco de Normalización (PKN) fue reincorporado.

En 2002, el Parlamento aprobó una nueva Ley de Normalización (efectiva a partir de 2003-01-01). De conformidad con esta Ley, PKN es una unidad de organización del Estado con cargo al presupuesto del Estado. Normas de trabajo se lleva a cabo por los Comités Técnicos (KTS) y las Normas de Polonia (SNP) son de carácter voluntario. PKN es apoyado por el Consejo de Normalización, integrado por representantes de todas las partes interesadas en la normalización. PKN es el Cuerpo Nacional de Normas para todos los ámbitos de la normalización.

PKN es un miembro de ISO, IEC, CEN y el CENELEC. También es signatario (como oficina nacional de estadística) del Memorando de Entendimiento con el ETSI.

El Comité Polaco de Normalización (PKN) – Es una unidad de organización del Estado Polaco financiado por el presupuesto del Estado reconocido como un organismo de normalización nacional, las principales tareas de las cuales son:

- * Evaluación del estado de la técnica y la orientación de la actividad de normalización,
- * Organización y supervisión de la publicación y difusión de las normas de Polonia y otros resultados,
- * Aprobación y la retirada de las normas de Polonia y de otros documentos de normalización,
- * Representación de la República de Polonia en las organizaciones de normalización internacionales y regionales, la participación en su trabajo y la representación de los intereses nacionales en el extranjero en materia de normalización,
- * Poner en marcha y organización del trabajo de los Comités Técnicos (KTS),
- * Organización y realización de la formación, publicaciones, actividades de promoción y de información con respecto a la normalización y áreas relacionadas,
- * Emitir opiniones sobre proyectos de actos ejecutivos relacionados con la normalización.
- * Participación en el sistema nacional de notificación de las normas y reglamentos.

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



El PKN empleo en los últimos años se mantiene en el mismo nivel. Se fue de 316 empleados en 2004, incluyendo 139 en las divisiones de normalización. También la estructura del empleo ha cambiado.

Los estándares sobre la regulación de puestas a tierra en Europa son los mismos que en Polonia y los mismos que en España pero la normativa interna polaca hace actualizaciones anuales sin hacer reglamentos o decretos ley.

La normativa vigente polaca se basa en las normativas **PN-HD 60364-1:2010**, **PN-IEC 60364-3:2000**, **PN-HD 60364-4-41:2009**, **PN-HD 60364-5-54:2010** los cuales son documentos de armonización de la normativa internacional y europea **IEC 60364** y **HD60364** respectivamente.

Cabe mencionar que estas actualizaciones las hicieron en **2005, 2008, 2009 y 2010** sustituyendo a la anterior **BS 60364:2000** la cual fue la normativa adaptada de Reino Unido de la norma internacional **IEC60364 anterior al 2000 por parte de Polonia**.



7.2 Comparativa de la reglamentación Polaca y Española en base a la Normativa internacional IEC 60364.

7.2.1 Introducción

La **IEC 60364** es el estándar internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional en las instalaciones eléctricas de los edificios. Esta norma es un intento de armonizar las normas nacionales de cableado en una norma **IEC**. Las últimas versiones de muchas normas de cableado europeos (por ejemplo, BS 7671 en el Reino Unido) siguen la estructura de la sección de la norma **IEC 60364** muy de cerca, pero contienen un texto adicional para atender a la práctica nacional histórico y para simplificar el uso del campo y la determinación del cumplimiento por parte de los comerciantes eléctricos y los inspectores. Los códigos nacionales y las guías de sitio están destinados a alcanzar los objetivos comunes de la norma **IEC 60364**, y establecer normas en una forma que permite la orientación de las personas y la inspección de la instalación de sistemas eléctricos. El apartado que se ciñe a nuestro estudio en normativa internacional son las normas: **IEC 60364-1**, **IEC 60364-2-21**, **IEC 60364-3**, **IEC 60364-4-41** y **IEC 60364-5-54** referidos a los esquemas de conexión a tierra y puestas a tierra, en donde hemos recogido gran parte de la información para la realización del mismo.

La normativa española que rige los **ECT** son las **ICT-BT** del reglamento electrotécnico de baja tensión. Son normas recogidas y que siguen muy de cerca, pero no literalmente, las europeas sobre todo las normas **UNE**, pero no hacen mención a la normativa internacional **IEC60364** en ningún momento aunque muchas de ellas se basen en la internacional.

Por el contrario, la normativa polaca salvo la **PN-HD60364-1: 2010**, **PN-HD 60364-4-41:2009** y **PN-HD 60364-5-54:2010** la cuales son normativas que vienen de la europea **HD60364**, el resto de la normativa referida a las instalaciones de baja tensión vienen de la internacional **IEC60364** en concreto de la **IEC60364-2-21** y de la **IEC60364-3** la cual esta última es literalmente traducida al polaco por el **PKN** en la normativa **PN-IEC60364-3:2000** y la **IEC60364-2-21** no ha sido traducida al polaco pero que si siguen debido a que esta parte es una guía de términos generales para entenderlos términos específicos de los que se tratan en los **E.C.T**.

Cabe destacar que en Polonia también aparte de la europea **HD60364-1** tienen una traducción literal al polaco de la **IEC60364-1** la cual es la **PN-IEC60364-1:2000**, estas dos normas, tanto la **PN-HD60364-1: 2010** como la **PN-IEC60364-1:2000**; y como excepción al resto de normas, están traducidas ambas normas. En este caso nos ceñiremos a la europea **HD60364-1** ya que es una actualización del 2010 y no como la europea que la hicieron en 2000 por el comité polaco estandarización **PKN**.



En este sentido podemos observar que la normativa española es análoga a la europea, pero no en todos los aspectos y la polaca es análoga literalmente a la **IEC60364** excepto por la **IEC60364-1**, **IEC60364-4-41** y **IEC60364-5-54** la cual Polonia se rige por la **HD60364**. Este documento de armonización es un texto casi literal a la **IEC60364** pero no igual, con lo que podemos generalizar que la comparativa entre España y Polonia es una comparativa entre la europea y la internacional.

Debido a que la IEC es la más extensa y que mucha de la normativa del CEN como las normas UNE (nomenclatura que da AENOR a las normas europeas por parte de este comité) se basan en la internacional.

Por este motivo este proyecto de comparativa se realizara en base a la internacional IEC60364 que es la normativa más extensa y después se compara que dice la normativa europea UNE y española REBT respecto a los temas a tratar de la internacional. Respecto a la normativa polaca, sigue la internacional literalmente, PN-IEC60364-3:2000, excepto por las normativas PN-HD 60364-1:2010, PN-HD 60364-4-41:2009, PN-HD 60364-5-54:2010 que a su vez son normativas que siguen muy de cerca, pero no literalmente la internacional ya que son normas de armonización de la IEC60364, todas ellas en su idioma excepto por la normativa internacional IEC60364-2-21 debido a que son términos técnicos de los ECT.

Cabe mencionar que esta analogía entre comparativas es solo general e iremos exponiendo también las diferencias más significativas entre la normativa europea y española, y entre la internacional y la polaca, es decir compararemos la normativa HD60364 (Polonia) y UNE20460/ HD384 (España) en base a la internacional IEC60364.



7.2.2 Diferencias en ámbitos de aplicación y peligros de las instalaciones eléctricas

Por lo expuesto anteriormente procederemos a comparar las normativas en base a la **IEC60364** e iremos exponiendo los puntos discordantes y comunes con la europea, polaca y española

Todas estas normas están destinadas a:

- Permisos residenciales, comerciales, industriales y públicos
- Edificaciones prefabricadas.
- Caravanas, emplazamientos de caravanas, campings y sitios similares.
- Construcciones, exhibiciones y otros emplazamientos temporales.
- Puertos deportivos y embarcaciones de recreo.

La norma polaca PN-HD60364 además incluye más ámbitos de aplicación que las normas IEC60364 y UNE20640 como son:

- Iluminación exterior e instalaciones análogas
- Locales médicos
- Unidades móviles o transportables instalaciones fotovoltaicas
- Grupos generadores de baja tensión

Esto es debido a que es un documento de armonización para Polonia en cambio en España estos últimos grupos lo regulan otra normativa, en este aspecto el documento de armonización abarca más campos que la española pero la normativa española es más amplia. Esto se puede entender bastante bien y como ejemplo en las instalaciones fotovoltaicas ya que en Polonia no tienen gran uso de este tipo de generación de energía debido a su clima y por esto mismo no tienen una normativa tan extensa como la española y la tienen agrupada aquí en el documento de armonización.

La norma IEC6 364 y la norma UNE20640 cubren todos los circuitos anteriormente mencionados en un rango de:

- Circuitos de un voltaje máximo de 1000V en A.C. y 1500V en D.C. ambos inclusive. Para circuitos de alterna las frecuencias reguladas son de 50, 60 y 400Hz para todo tipo de circuitos anteriormente nombrados incluso para fines especiales.
- Todas las instalaciones externas para edificios.
- Instalaciones de cableados fijos para telecomunicaciones, control y similares, excluyendo cableados internos de los aparatos.



La norma PN- HD60364 tiene un rango similar de aplicación pero no igual:

- Circuitos de un voltaje máximo de 1000V en A.C. y 1500V en D.C. ambos inclusive. Para circuitos de alterna las frecuencias reguladas son de 50, 60 y 400Hz pero no incluye el uso de otras frecuencias para aplicaciones particulares.
- Circuitos que no sean los internos de los aparatos, que funcionan a una tensión superior a 1000V a partir de una instalación de tensión como máximo igual a 1000V en corriente alterna, dando como ejemplo lámparas de descarga, precipitadores electrostáticos...
- Cualquier cableado o canalización no específicamente cubierto por las normas relativas a los aparatos de utilización.
- A todas las instalaciones consumidoras situadas en el exterior de los edificios
- A las canalizaciones fijas de telecomunicación, de tecnología de la información, de señalización o de mando (con excepción de los circuitos internos de los aparatos)
- A las ampliaciones o modificaciones de instalaciones así como a las partes de las instalaciones existentes afectadas por estas ampliaciones o modificaciones

Las normas IEC60364 y UNE20640 no se aplican en los siguientes ámbitos:

- Equipos eléctricos de tracción
- Equipos eléctricos para motores de vehículos
- Instalaciones eléctricas a bordo de buques.
- Instalaciones eléctricas de aviones
- Instalaciones de iluminación pública
- Instalaciones en minas
- Equipos de supresión de radio frecuencias, excepto tan lejos como esto afecte a la seguridad de la instalación
- Vallas o cercas eléctricas.



La norma polaca es incluso más restrictiva añadiendo:

- Instalaciones de protección contra el rayo
- Algunos aspectos en las instalaciones de los ascensores
- Equipos eléctricos de las maquinas.

Esto es lógico debido a que Polonia al estar ubicada en los países más al este de Europa, tienen otro tipo de climatología, más extrema y por eso esta norma no se aplica en estos tres ejemplos si no que ellos la regulan internamente debido a que los materiales son algo distintos para resistir este tipo de ambiente, sobre todo instalaciones exteriores.

Como un aspecto común a todas ellas podemos decir que tanto la norma Polaca PN-HD60364 como la norma europea que rige a España UNE20640 coinciden plenamente con la internacional IEC60364, en que no están previstas que sean aplicables a :

- Sistemas de distribución de la energía para el publico
- Generación y transmisión de la energía para tales sistemas.

Los peligros comunes de las normativas IEC60364 y UNE20460, principalmente son dos en instalaciones eléctricas:

- Corrientes de choque
- Temperaturas excesivas que puedan causar quemaduras, incendios o otros efectos perjudiciales.

Pero la normativa PN-HD60364 además añade más peligros a tener en cuenta, como son:

- Inflamación de atmosferas potencialmente explosivas
- Las bajadas de tensión, las sobrecargas y las perturbaciones electromagnéticas susceptibles de lesiones o de daños.
- Las interrupciones de la alimentación y de las instalaciones de seguridad.
- Los arcos susceptibles de cegar, de presiones excesivas y/o gases tóxicos
- Los movimientos mecánicos de equipos accionados por electricidad



7.2.3 Diferencias en protección contra corrientes de choque.

La protección contra corrientes de choque se diferencia principalmente en dos tipos, por contacto directo y por contacto indirecto. La normativa IEC 60364-1 fija como deben de ser estas protecciones y que al menos se deben de elegir por al menos unos de los métodos para cada tipo de contacto o fallo:

Por contacto directo:

- Previendo cualquier tipo de corriente a través del cuerpo de cualquier persona o ganado
- Limitando el valor de la corriente que pueda pasar a través del cuerpo a niveles por debajo del de cualquier golpe de corriente.

Por contacto indirecto:

- Previendo cualquier tipo de corriente a través del cuerpo de cualquier persona o ganado
- Limitando el valor de la corriente que pueda pasar a través del cuerpo a niveles por debajo del de cualquier golpe de corriente.
- Una desconexión automática del suministro en un determinado tiempo justo en la aparición de una falta que probablemente pueda causa un flujo de corriente en el cuerpo en contacto con partes expuestas y conductoras de la instalación o aparatos donde el valor de esta corriente sea igual o mayor que el golpe de corriente.

La normativa española que lo regula es la ICT-BT-24/UNE20460-4-41, UNE20.481, UNE20.460-4-41, UNE20.324 y UNE20572-1 mientras que la polaca es la PN-HD 60364-4-41:2010 .



Estas normas enumeran una serie de técnicas de protección para este tipo de faltas por contacto y regulando también sus valores en el tiempo de interrupción y que dispositivos utilizar en cada E.C.T. que son:

Por contacto directo, según la norma UNE20.460-4-41 del ICT-BT-24 y salvo indicación contraria:

- Protección por aislamiento de partes activas
- Protección por medio de barreras envolventes
- Protección por medio de obstáculos
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento
- Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.

Por contacto indirecto según UNE20.460-4-41 del ICT-BT-24

- Protección por corte automático de la alimentación, en este apartado se describe como se debe de hacer para cada E.C.T., tiempos y qué tipo de aparatos son los más apropiados para cada uno de ellos.
- Protección por aislamiento equivalente o utilización de aparatos de clase II que son equipos con un aislamiento doble o reforzado.
- Protección mediante conexiones equipotenciales locales no conectadas a tierra
- Protección por separación eléctrica, en la cual la norma UNE20.460-1 enuncia el conjunto de prescripciones que se debe de garantizar con esta protección.

La normativa polaca se basa también en la IEC60364 y en la UNE20.460-4-41 en su normativa PN-HD 60364-4-41:2010 donde encontramos una serie de recomendaciones muy parecidas, y que la utilización de la muy baja tensión de seguridad MBTS para los contactos directos e indirectos es un elemento común en ambas normativas, tanto española como polaca, pero en la normativa polaca lo describe completamente y en la española nos indica donde podemos encontrar esa información.(UNE20.460-4-41, UNE 20.481 y ICT-BT-36) .Cabe mencionar que la ICT-BT-36 son una serie de requisitos y condiciones generales que debemos de reunir para poner en práctica la normativa europea.

La normativa IEC60364 también hace hincapié en protecciones tales como sobre corrientes, corrientes de fallo, protecciones contra efectos térmicos y protecciones de sobre-voltaje.



Este proyecto hará un especial hincapié en las protecciones por contacto directo e indirecto como hemos mencionado antes. El motivo son dos:

- La protección contra contactos es un elemento esencial en el diseño de los distintos E.C.T. tanto a nivel histórico como a nivel técnico como es la elección de uno u otro.
- La extensa normativa que hay sobre los otros tipos de protecciones se hace inabarcable para un solo proyecto.

Las normativas que regulan este estudio de los contactos directos e indirectos son:

- IEC 60364-4-41
- UNE20460-4-41
- ICT-BT-24
- PN-HD 60364-4-41:2009

La normativa internacional que lo regula es la IEC60364-4-41, la normativa UNE20460-4-41 es análoga pero diferenciándose en ciertos aspectos que compararemos.

En este aspecto la ICT-BT-24, intenta seguir la normativa UNE20460-4-41 pero no la sigue literalmente tampoco con lo que tenemos que hacer 2 diferencias entre:

- La normativa internacional IEC60364-4-41 y la UNE20460-4-41
- Y entre las normativas UNE20460-4-41 y la ICT-BT-24.

En un principio y viendo las tres normativas podemos asegurar con toda certeza que la normativa internacional IEC60364-4-41 es la más extensa y detallada centrándose en mas aspectos que la UNE20460-4-41 que a su vez es más extensa que la normativa española ICT-BT, pero con la excepción que la norma española coge algunos aspectos de la internacional que la europea no explica (aun así sigue siendo una normativa menos extensa que la europea) y que explica con métodos gráficos el funcionamiento de cada ECT ante fallos en contacto indirecto, con lo que se hace mas intuitivo el aprendizaje del comportamiento de esta corriente de fallo.

Comparando la normativa española y polaca en este sentido, que mas adelante entraremos en detalle, la normativa polaca PN HD 60364-4-41:2009 es más extensa que la norma española ya que esta norma la adapta directamente de la internacional con lo que podemos decir que son análogas. Sin embargo la española sí que la adapta de la europea UNE según el CENELEC para España, pero con aspectos gráficos del comportamiento de la corriente en fallos de contacto indirecto y algunos datos que recogen de la internacional IEC60364-4-41.

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



La normativa polaca por su parte, se ha ceñido única y exclusivamente a la europea HD (como lo hace en todo lo referido a los ECT) debido a que es más extensa y detallada de todas las normativas, basándose en la IEC60364-4-41; pero todo esto sin tener algo parecido a un reglamento electrotécnico de baja tensión, que simplifique y unifique en un mismo documento la información, como en España, con lo que la búsqueda de normativa y regulación en baja tensión es mucho más ardua.

La protección por limitación de la corriente de contacto en régimen permanente y de la carga esta aun en estudio y por regular, con lo que no se puede comparar y abre un nuevo campo para la investigación y regulación de la misma.



7.2.4 Diferencias entre las normativas en sistemas de muy baja tensión contra contactos directos e indirectos.

La primera gran diferencia que encontramos entre normativas, es la anulación de la descripción de los “functional extra low voltaje” (FELV), por parte de la UNE20460-4-41 respecto de la internacional, en cuanto a la polaca no hace ninguna referencia sobre estos.

Los tres diferentes tipos de FELV para muy bajas tensiones de seguridad contra contactos indirectos, son:

- Separated or safety extra-low voltage (SELV)→ Muy baja tension de seguridad (MBTS)
- Protected extra-low voltage (PELV)→ Muy baja tension de protección (MBTP)
- Functional extra-low voltage (FELV)→ Muy baja tension funcional (MBTF)

Estos circuitos o sistemas son sistemas a muy baja tensión que garantizan la protección de las personas frente a contactos indirectos.

Cabe destacar que la norma española que regula este aspecto ya no es la ICT-BT-24 si no la ICT-BT-36 debido a que es un tema muy amplio a tratar como un apartado más de la protección ante contactos indirectos.

Siguiendo con la comparativa podemos destacar que la única que no regula nada acerca de los circuitos a muy baja tensión funcional o FELV's es la UNE20460-4-41.

La norma española ICT-BT-36 habla sobre los FELV, los cuales los describe únicamente como circuitos cuya tensión nominal no excede de 50V en C.A.(corriente alterna) ó 75V y que no cumplen los requisitos de MBTS y MBTP. En este tipo de instalaciones bien, están alimentadas por una fuente sin aislamiento de protección, tal como fuentes con aislamiento principal, o bien sus circuitos no tienen aislamiento de protección frente a otros circuitos.



Esta escasez de datos y simplificaciones técnicas no se ven reflejadas en las normativas internacionales. Tampoco hace referencia a ninguna norma, por lo que podemos intuir que es una regulación estrictamente para España simplificando y mucho lo que dice la internacional. El resto de la normativa española, en este caso la ITC-BT-36, hace mención a unos requisitos y condiciones generales de instalación de los circuitos de muy baja tensión tanto de seguridad (MBTS) como de protección (MBTP) pero nada sobre los funcionales (MBTF). En tales casos sí que nombra la normativa europea UNE-EN 60742 y UNE-EN 61558-2-4 pero solamente en el aspecto de las fuentes de aislamiento, el cual es un requerimiento básico para los circuitos de MBTS y MBTP. En cambio la normativa internacional dedica amplios documentos regulando estos tres tipos de circuitos.

La normativa internacional coincide con la española en la descripción de los circuitos FELV pero la norma internacional IEC60364-4-41, y no la europea UNE20460-4-41 ni la española en los ITC-BT, ni mucho menos la polaca HD60364-4-41 describen como deben de ser estos circuitos frente a contactos directos e indirectos.

Según la normativa internacional estos circuitos deben de ser diferenciados si el requerimiento principal es contra contactos directos o indirectos:

La protección contra contactos directos debe de quedar garantizada:

- Bien mediante barreras envolventes que presenten por lo menos un grado de protección IP2X o IPXXB
- Bien mediante un aislamiento que pueda soportar una tensión para el circuito principal, sin embargo si el circuito FELV no es capaz de resistir la tensión principal debe, durante la construcción del mismo resistir un valor de 1500 V en A.C. durante 1 minuto.

La protección contra contactos indirectos debe de quedar garantizada:

- Conexión de las partes conductoras expuestas del equipo del circuito FELV al conductor protector del circuito primario, provisto que el ultimo esté sujeto a una de las medidas de protección por desconexión automática del suministro
- Conexión de las partes conductoras expuestas del equipo del circuito FELV al conductor equipotencial no puesto a tierra del circuito principal donde la protección por separación sea acorde con la protección mediante seccionamiento eléctrico y este aplicado al circuito principal.

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



Los enchufes en los circuitos FELV deben de no ser capaces de poder conectarse una toma de corrientes de otros voltajes, es decir el enchufe y la toma de corriente deben de ser exclusivos para estos tipos de circuitos y no poder conectarse con otros voltajes por enchufes o tomas de corrientes con la misma forma.

Como conclusión a esta diferencia podemos intuir que estos tipos de circuitos son muy específicos con un uso de una tecnología complicada, que solo algunos países están acostumbrados a usar. Poniendo de ejemplo a Polonia que ni los menciona, nos da la sensación que este país rara vez los usan debido, y solo a mi parecer por haber estado en Polonia en mi vida Erasmus, al atraso tecnológico de unos 15 años que tiene frente a otros países más avanzados como Alemania, Francia y España. Esta última sí que los nombra y los define pero no los regula diferenciándolos frente a una protección contra contacto directo o indirecto y suponiendo que el instalador a su elección o simplemente utilizándolo los sistemas de protección sin diferenciar contra contacto indirecto o directo.



7.2.5 Diferencias en la interrupción de la alimentación entre normativas frente a contactos indirectos y protección contra los defectos.

La normativa internacional/polaca IEC60364-4-41/PN-HD60364-4-41 y la europea UNE20460-4-41 según España, coinciden en que un dispositivo de protección debe de aislar automáticamente de la alimentación el circuito o el material protegido contra los contactos indirectos por este dispositivo de tal manera que, tras un defecto entre una parte activa y masa en el circuito o el material, no se pueda mantener una tensión de contacto supuesta superior a los valores límite convencionales U_L (50V eficaces en corriente alterna y de 120V en corriente continua) durante un tiempo suficiente para crear un riesgo de defecto fisiológico peligroso para una persona en contacto con partes conductoras simultáneamente accesibles. Sin tener en cuenta el valor de la tensión de contacto, en determinadas circunstancias se admite un tiempo de interrupción no superior a 5 segundos según el esquema de las conexiones a tierra.

Explican también que el esquema IT el valor para la interrupción puede variar hasta un 10%, es decir para un valor de 120V en corriente continua puede llegar hasta 140V pero solo en el IT para la interrupción de la alimentación; pero la UNE20460-4-41 añade que estos valores de tiempo de interrupción y de tensión no se pueden aplicar a instalaciones de producción y distribución de la energía eléctrica con lo que pueden ser superiores.



7.2.6 Diferencias en puestas a tierra y conductores de protección

La norma UNE20460 -4-41 en este apartado nos manda a la norma HD384.5.54 la cual es otro documento de armonización como es la norma HD60364-5-54 pero con unas cuantas diferencias. Analizando la norma HD384.5.54 podemos observar que la ICT-BT-18 recoge la norma europea casi en su totalidad y literalidad, con lo que la normativa española se basa en la norma HD384.5.54 recogiendo en la ICT-BT-18.

Por el contrario, y como viene siendo habitual, la normativa polaca PN-HD60364-5-54 se basa en la internacional IEC60364-5-54, con lo que la diferencia de normas en este aspecto la haremos entre la ICT-BT-18 y la IEC60364-5-54. Una vez aclarado este punto podemos observar que la norma que más se desvía de la internacional es la española ya que la polaca PN-HD 60364-5-54 es prácticamente idéntica en este sentido.

Un punto muy importante a destacar que dejaremos para más adelante es que la norma polaca PN-HD60364-5-54, aunque se base en la internacional y ahora la consideremos igual que la IEC60364-5-54, no es así; ya que amplía lo que dice en la internacional con nuevos estudios, que explicaremos más adelante, (ahora mismo las consideraremos iguales para hacer la comparativa con la española).

Lo primero que podemos observar que la representación esquemática del circuito a puesta a tierra es el mismo para todas las normativas, con lo que en un principio nos dio a pensar, que en este punto, todas las normas serían iguales pero avanzando en la comparativa pudimos observar diferencias significativas sobre todo entre la ICT-BT-18 y la PN-HD60364-5-54. La representación esquemática del circuito de la puesta tierra es el siguiente:

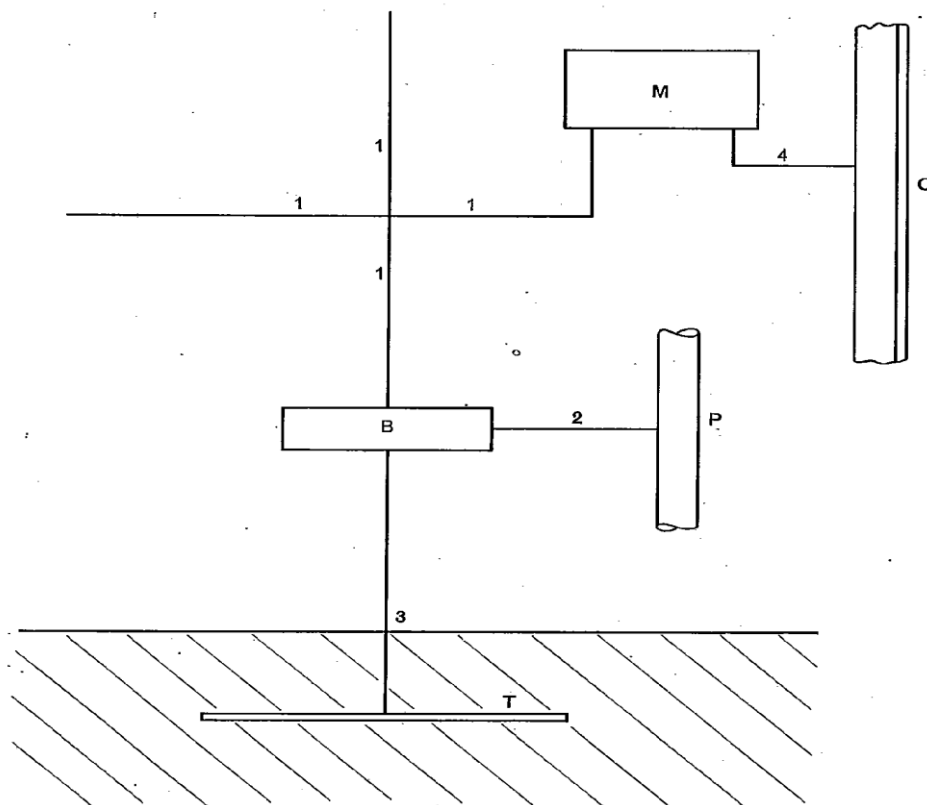


Figura 25: Representación esquemática de un circuito de puesta a tierra



Aclarado este punto la primera diferencia que vemos entre normas es en los conductores a tierra. Una tabla nos advierte de dos tipos de conductores a tierra, protegidos contra corrosión y sin protección contra corrosión. En la sección de protegidos contra la corrosión la normativa internacional y polaca nos dice que sí, no está protegido mecánicamente podemos utilizar tanto cobre o hierro de una sección en el conductor ambos de 16mm² pero la norma española ICT-BT-18 nos dice que lo tenemos que hacer de cobre o acero galvanizado. Es decir no podemos utilizar hierro sino acero galvanizado en nuestros conductores, eso sí, de la misma sección (16mm²).

La siguiente gran característica es que la norma española ICT-BT-18 nos da una tabla de los valores en la sección que deben de tener tanto los conductores de fase de la instalación como los conductores de protección. Esta tabla es la siguiente:

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Figura 26: Relación entre las secciones de los conductores de protección y de los de fase

En cambio la norma internacional lo que regula es una fórmula para el cálculo de la sección de los conductores de protección sin hacer referencia a los conductores de fase de la instalación. La fórmula es la siguiente:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

Ecuación 2: Fórmula para la sección del conductor de protección

En donde:

S = sección en milímetros cuadrados.

I = valor o valor efectivo en C.A. de la corriente de falta debido a una impedancia despreciable la cual pueda fluir a través de la instalación o el aparato, en amperios.

t = tiempo de operación para la desconexión del aparato en segundos.

k = factor de dependencia en el material del conductor de protección, el aislamiento y otras partes y el valor inicial y final de temperaturas (la norma nos da un anexo para la calcularla)

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{q_{20}} \ln \left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i} \right)}$$

Ecuación 3: Formula para el cálculo del factor de dependencia

Dependiendo del material que hayamos elegido para nuestro conductor de protección tendremos unos valores que deberemos introducir en la Ecuación 3, los cuales la norma europea IEC60364-5-54 nos los da en la siguiente tabla:

Material	B (°C)*	Q_c (J/°C mm³)**	q_{20} (Ω mm)*	$\sqrt{\frac{Q_c (B + 20)}{q_{20}}}$
Copper	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}	226
Aluminium	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}	148
Lead	230	1.45×10^{-3}	214×10^{-6}	42
Steel	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}	78

Figura 27: Valores para el cálculo del factor de dependencia k

Hay que decir que esta tabla de la figura 25 también aparece en la sección 543.1.2 de la norma EC60364-5-54 pero nos explica que si la aplicación de la tabla de la figura 25 produce tamaños de cables no estandarizados por la ecuación 2, los conductores tienen que ser lo más cercanos a los valores estandarizados. Es decir si con la ecuación 2 me genera una sección del conductor de protección distinta al de la figura 25 el instalador tendrá que usar una sección lo más parecida al de la ecuación 2 y no al de la figura 25, por consiguiente, tiene prioridad la formula. Esto es debido a que en las ecuación 2 y 3 toman valores técnicos de capacidades del conductor, la temperatura de trabajo tanto mínima como máxima... con lo que nos dará un valor más apropiado de la sección de nuestro conductor de protección mejor que el del a figura 25. Además los valores de la figura 25 solo son valido en el caso de que los conductores de protección hayan sido fabricados del mismo material que los conductores activos, con lo que restringe aun más el uso de la misma siendo de uso universal las ecuaciones 2 y 3. Eso si en las norma española al no indicar nada de esto dice que en el caso de no poderse aplicar la tabla de la figura 25 tendremos que determinar por nosotros mismos la sección equivalente de nuestro conductor de protección a la que resulta aplicando esta misma tabla.



Estos valores los podemos ver en las tablas 54b, 54C, 54D y 54F de la sección 543.1.1 de la norma IEC60364-5-54.

En lo que coinciden es en la diferenciación de los conductores de protección, que no formen parte de la canalización, si disponen de protección mecánica o no, siendo de 2,5mm² o 4mm² respectivamente. Sobre condiciones de equipotencialidad también coinciden prácticamente literalmente.

Ahora las dos normas tanto la española ICT-BT-18 como la polaca PN-HD60364-5-54 añaden estudios internos para cada país que comentaremos a continuación. Este motivo nos hace pensar que en cada país la puesta a tierra y sus condiciones variaran bastante, adaptando como base la internacional pero añadiendo estudios propios de cada país.

7.2.6.1 Normativa Española adicional a IEC60364-5-54 sobre puestas a tierra

La norma española nos añade además que la resistencia tiene que cumplir que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto de 24V en local o emplazamiento conductor o 50V en los demás casos, mostrando unos valores (*ver figura 28*) de naturaleza del terreno y resistividad en Ohm.m orientativos para realizar esta operación.

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Figura 28: valores orientativos de la resistividad en función del terreno según ICT-BT 18



La normativa interna de España además regula una distancia entre las masas de tierra y las masas de un centro de transformación dándonos una fórmula para la distancia entre electrodos.

Este aspecto no lo regula la internacional ni la europea con lo que podemos sugerir que este tipo de normas son estrictamente internas de cada país, en la que las normas internacionales y europeas solo dan directrices de cómo debe ser la instalación *ver figura 25*.

También podemos apreciar que solo se pueden unir la puesta a tierra con las masas o puestas a tierra de protección cuando la resistencia de puesta a tierra sea lo suficientemente baja para que el valor de I_d (corriente de defecto) sea lo máximo posible para ser evacuada cumpliendo un valor máximo de tensión de defecto, según la siguiente ecuación:

$$V_d = I_d \cdot R_t$$

Ecuación 4: valor de tensión de defecto según I_d

Este valor de tensión de defecto tiene que ser menor que la tensión de contacto máxima aplicada según el punto 1.1 de la MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantía de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación

Además y como ultima diferencia respecto la revisión de tomas de tierra, la norma española dice que al menos se tiene que hacer al menos una vez al año cuando el terreno este mas seco. Y si no se puede hacer la revisión por difícil acceso para medir los valores de defecto se tendrán que poner al descubierto al menos cinco veces al año.

7.2.6.2 Normativa Polaca adicional a IEC60364-5-54 sobre puestas a tierra

La normativa polaca PN-HD60364-5-54:2010 nos da unos anexos, que podemos ver en la siguiente tabla, en los que nos da unos valores de resistividad en función del tipo de suelo.

Type of ground	Ground resistivity ρ [Ωm]	
	Range of values	Average value
Boggy ground	2 - 50	30
Adobe clay	2 - 200	40
Silt and sand-clay ground, humus	20 - 260	100
Sand and sandy ground	50 - 3,000	200 (moist)
Peat	> 1,200	200
Gravel (moist)	50 - 3,000	1,000 (moist)
Stony and rocky ground	100 - 8,000	2,000
Concrete: 1 part cement + 3 parts sand	50 - 300	150
1 part cement + 5 parts gravel	100 - 8,000	400

Figura 29: tabla de tipos de resistividad según PN-HD60364-5-54:2010, en inglés.

Como podemos apreciar coinciden en algunos tipos de suelos pero la varían bastante sus valores, podemos encontrar arcillas y humus pero la polaca no hace distinción mientras que la española sí. También podemos observar que tienen valores para la turba ("peat") normal con unos valores mayores a 1200 Ohm.m, esto es debido a que es la turba no húmeda. La norma española es totalmente contraria y solo distingue la turba húmeda (también muchos tipos de arcillas y calizas que en la polaca no hacen) con unos valores muchos mas pequeños en concreto de 5-100 Ohm.m.

Como podemos apreciar las diferencias de valores vienen dadas también en la humedad del suelo, claro ejemplo de la turba en España y turba húmeda en Polonia, con lo que en Polonia nos hace un estudio, que podemos observar en la figura 30, de la dependencia de la resistividad del suelo de la humedad.

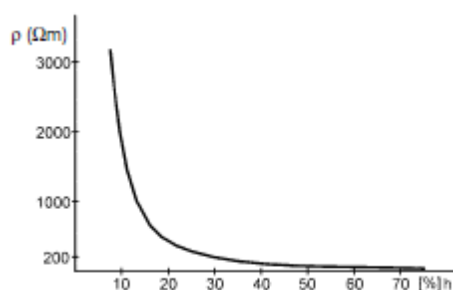


Figura 30: resistividad en función de la humedad



España no se ha hecho eso; lo único que se dice (comentado en el punto 7.2.3.1) es que se tiene que medir cuando el suelo este más seco y al menos una vez al año. Como nota aclaratoria personal, no creo que en España no se haya hecho esto pero debido a un clima en general mas cálido y menos húmedo, habrán omitido estos estudios propios de España, simplificando la normativa, reglando que los valores de resistividad del terreno se tienen que hacer cuando este lo más seco posible.

La norma polaca regula que la impedancia de tierra es equivalente a una resistencia sin parte capacitiva o inductiva apreciable y que se puede aproximar a:

$$Z_E \approx R_D \approx R$$

Ecuación 5: aproximación de la impedancia del suelo según norma polaca.

En donde la impedancia de tierra (Z_E) se puede aproximar a una resistencia de defecto (R_D) con lo que al final la llaman simplemente R o resistencia de tierra admisible.

El voltaje máximo dependerá de estos valores y del radio, respecto del electrodo, en la que se haga la medida, con lo que tenemos entonces esta ecuación, en donde “ r ” es el radio de la medida de voltaje respecto al electrodo puesto a tierra:

$$V_E = I_E R_E = \frac{\rho I_E}{2\pi r}$$

Ecuación 6: Potencial de tierra respecto del electro a otro punto.

Según bajemos en profundidad, la resistencia de defecto o resistencia del electrodo bajará; con lo que manteniéndonos por debajo del voltaje de defecto máximo podremos disipar más corriente a tierra. Esta función la podemos ver en la siguiente figura:

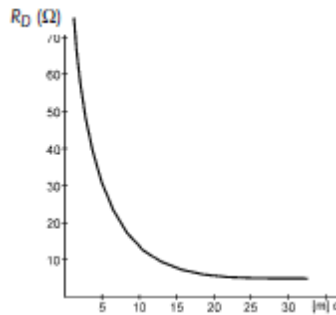


Figura 31: Disipación de la resistencia de defecto en función de la profundidad

Este aspecto es muy importante ya que si no conseguimos que nuestra resistencia a tierra sea lo suficientemente baja para que el voltaje de defecto este dentro de los límites máximos admisibles y así poder disipar la corriente deseada a tierra, tendremos que bajar la profundidad de los electrodos.

La normativa polaca también nos indica el valor de la longitud máxima de electrodo para absorber la corriente de defecto I_a de la puesta a tierra y nos da una tabla según resistividad que midamos en el suelo:

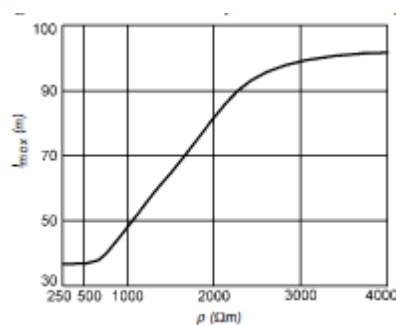


Figura 32: altura máxima pro electrodo admisible en función de la resistividad del suelo

También la normativa polaca nos indica que si nuestra longitud de electrodo es la máxima posible para la resistividad del suelo que tenemos y no logramos disipar el valor suficiente de corriente de defecto sin salirnos del límite de la tensión de defecto (ver ecuación 4) deberemos instalar elementos en la parte inferior del electrodo, que lleguen más profundo, para así bajar la resistividad de defecto y poder estar dentro de los valores óptimos tanto de voltaje como de intensidad de defecto. La normativa polaca nos indica en la siguiente figura como debemos de hacerlo pero no nos indica que tipo de material y ni de profundidad deben de tener estos elementos instalados en la parte inferior de los electrodos, solamente que tenemos que bajar la resistencia sea como sea

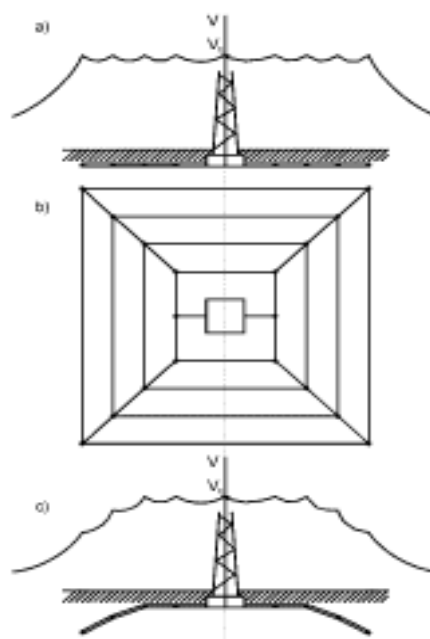


Figura 33: Descripción gráfica tanto de planta como de alzado de la instalación de los elementos metálicos en los electrodos para bajar V_d

Como podemos observar la normativa polaca, debido a su clima más húmedo y adverso que el nuestro, tienen estudios más profundos sobre estos temas. No quiere decir que España no los sino simplemente no los tienen tan regulados como Polonia debido a un clima no tan adverso como el suyo. También hay que decir que este motivo también será por infraestructuras debido a que son mucho más antiguas y para modificarlas o remodelarlas sin alterar la anterior instalación pondrán si no está bien los valores de puesta a tierra de defecto, pondrán los elementos metálicos a mas profundidad para bajar la resistencia de defecto.

En mi estancia en Polonia, como estudiante Erasmus, pude ver las puestas a tierra de los edificios más antiguos, que estaban a la intemperie solo protegido también en el exterior por unos tubos de algo más de dos metros para evitar el contacto directo con las personas, en concreto con los peatones.



Figura 34: Conexión a tierra típica de los edificios de Polonia

Esta situación, como otras similares, y la antigüedad de la mayoría de los edificios nos pueden dar una idea del desarrollo en infraestructuras que tiene Polonia. Aunque, hay que decir que es un país emergente con ingenieros muy capacitados, en concreto en Wroclaw con una cultura alemana muy extendida (no hay que olvidar que Wroclaw fue una de las mayores ciudades de la parte alemana de Polonia en tiempos de la segunda guerra mundial).



7.2.7 Diferencias en los ECT's en Corriente continua C.C.

El reglamento electrotécnico español no regula nada hacer de los ECT's en corriente continua (c.c.), la normativa europea UNE20460-3 tampoco regula nada pero las normativas internacionales tanto IEC60364-3 como la normativa PN-HD60364-1 en su anexo A explican cómo son estos ECT's, tanto gráficamente como técnicamente, pero no son del todo coincidentes. Aclarado esto podemos decir que la normativa española no dice nada acerca de estos ECT's pero la normativa polaca si.

Aclarado este punto haremos una comparativa entre la normativa internacional IEC60364-3 y la PN-HD60364-1 ya que ni la europea UNE20460-3 ni las ICT-BT en el reglamento electrotécnico de baja tensión los mencionan.

7.2.7.1 TN en c.c.

La normativa internacional regula dos tipos de sistemas de conexión para cada tipo de TN pero la normativa europea solo regula una por tipo de TN.

La gran diferencia que vemos es que la norma internacional diferencia entre dos y tres conductores mientras que la norma europea solo regula tres conductores. También podemos ver diferencias técnicas entre ambas ya que la normativa europea une el conductor de protección PE con el neutro N mientras que la internacional los separa teniendo las masas cuatro conexiones en vez de tres (fase positiva, fase negativa, neutro y conductor de protección). Esto implicaría, a mi juicio un nivel de seguridad superior en la normativa internacional que en la europea, pero un coste bastante menos en la europea. El nivel de continuidad no tendría por qué variar y seria el mismo para ambos ejemplos.

7.2.7.1.1 TN-S en c.c.

Según normativa internacional:

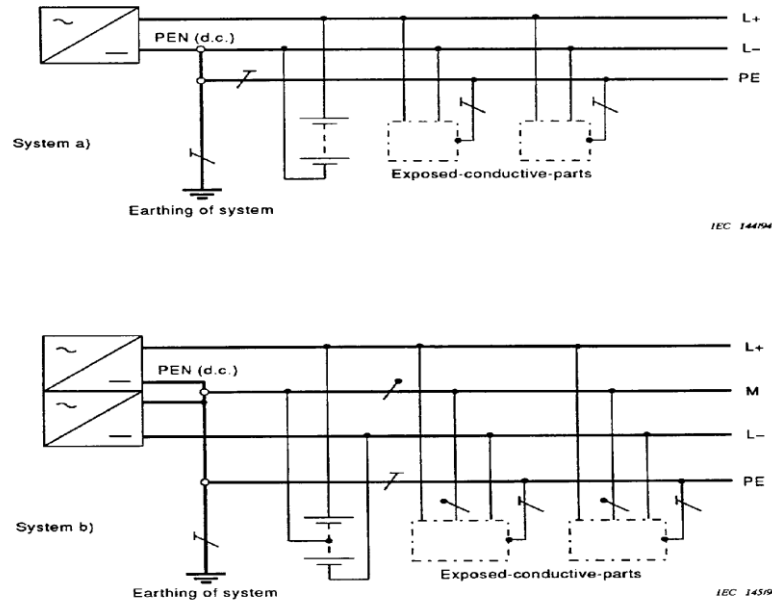


Figura 35: Esquemas TN-S en c.c. según norma internacional.

Según normativa europea PN-HD60364-1:

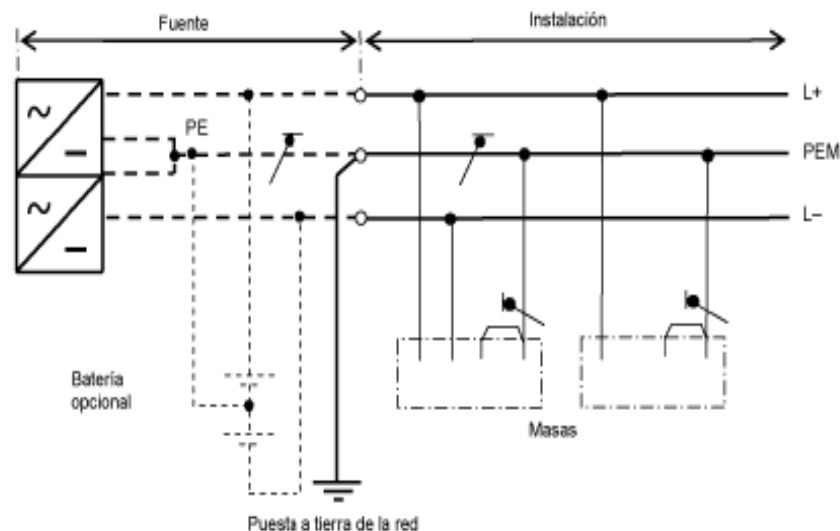


Figura 36: Esquema TN-S en c.c. según documento de armonización

7.2.7.1.2 TN-C en C.C.

Según normativa internacional:

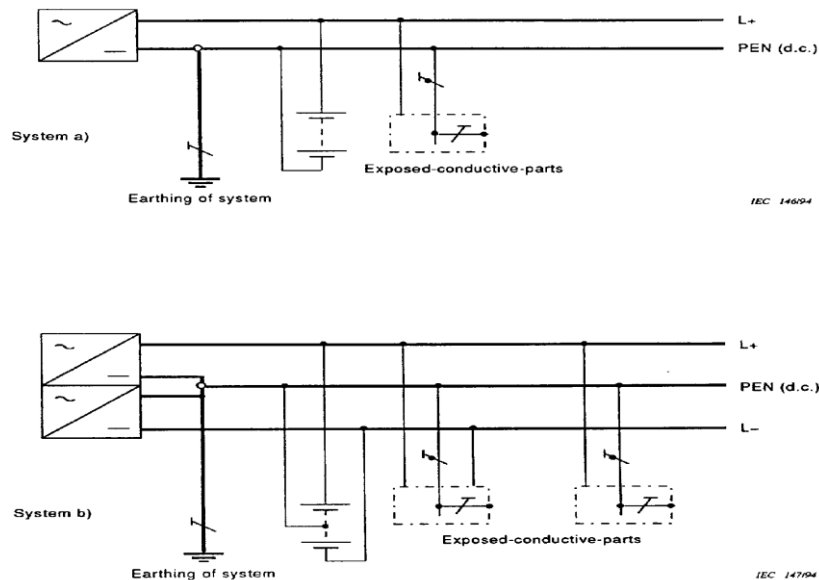


Figura 37: Esquema TN-C en c.c. según normativa internacional.

Según normativa europea:

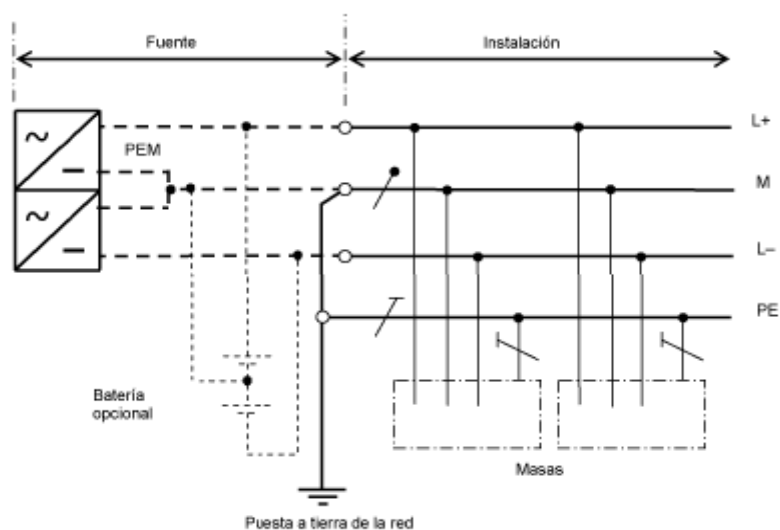


Figura 38: Esquema TN-C en c.c. según documento de armonización.

7.2.7.1.3 TN-C-S en C.C.

Según normativa internacional:

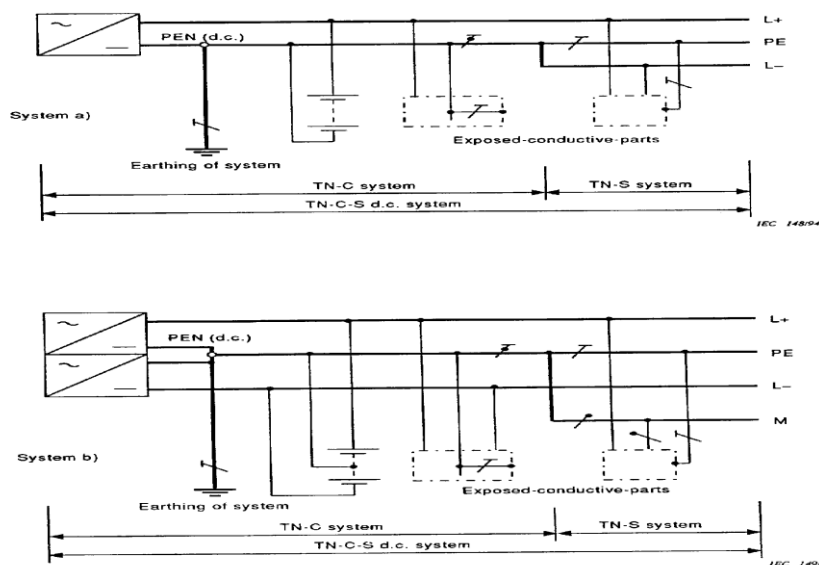


Figura 39: Esquema TN-C-S en c.c. según normativa internacional.

Según normativa europea:

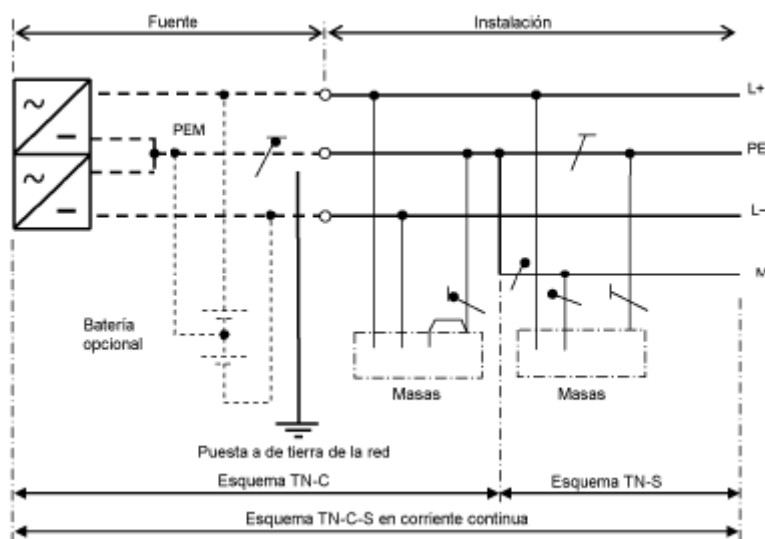


Figura 40: Esquema TN-C-S en c.c. según documento de armonización.

7.2.7.2 TT en C.C.

En este tipo de conexión a tierra solo encontramos que la internacional hace diferencia entre dos y tres conductores en c.c. y la europea solo en tres conductores, en todo lo demás son iguales separando el neutro del conductor de protección en los esquemas de tres conductores en c.c. y así coincidiendo ambas normativas en este tipo de conexión a tierra.

Según normativa internacional:

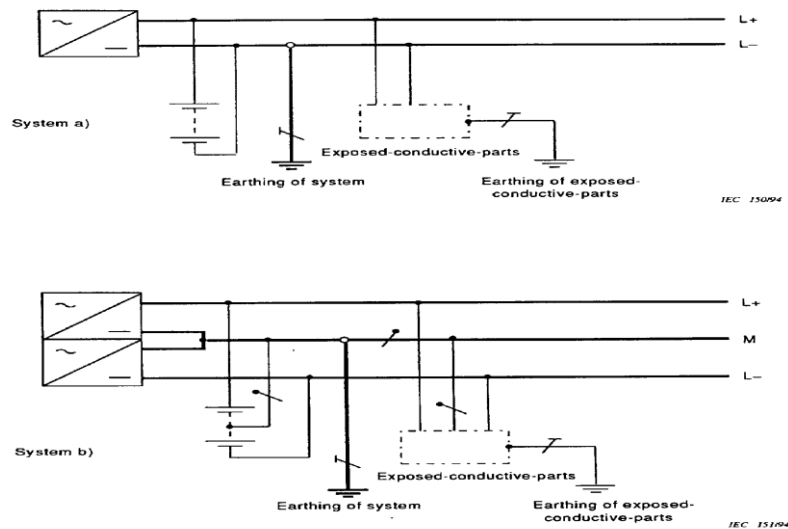


Figura 40: Esquema TT en c.c. según normativa internacional.

Según normativa europea:

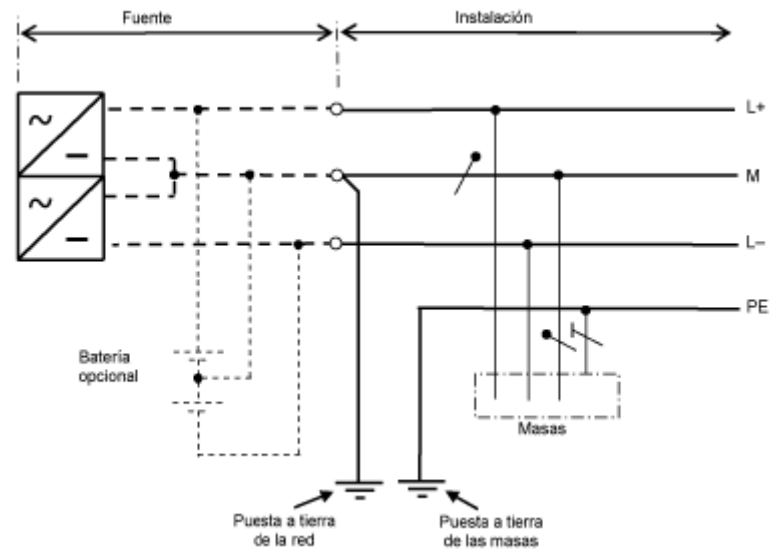


Figura 41: Esquema TT en c.c. según documento de armonización.

7.2.7.3 IT en C.C.

Como regla general la normativa internacional, en este caso también, regula una norma para dos y tres conductores aspecto en el cual la norma europea de armonización no. Como diferencia fundamental el documento de armonización europeo coincide totalmente con el internacional salvo la excepción en la que podemos conectar, opcionalmente, nuestro conductor de neutro a tierra a través de una impedancia suficientemente alta.

Según normativa internacional:

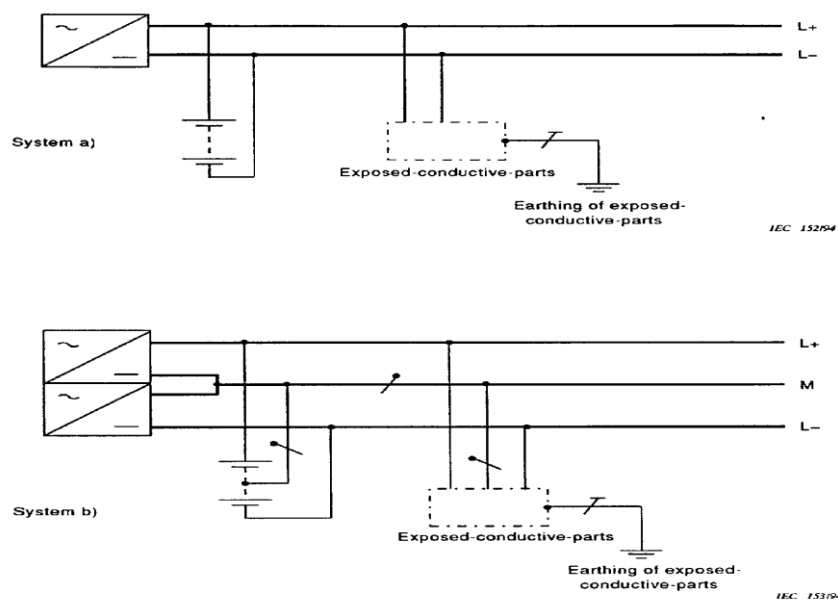


Figura 42: Esquema IT en c.c. según normativa internacional.

Según normativa europea:

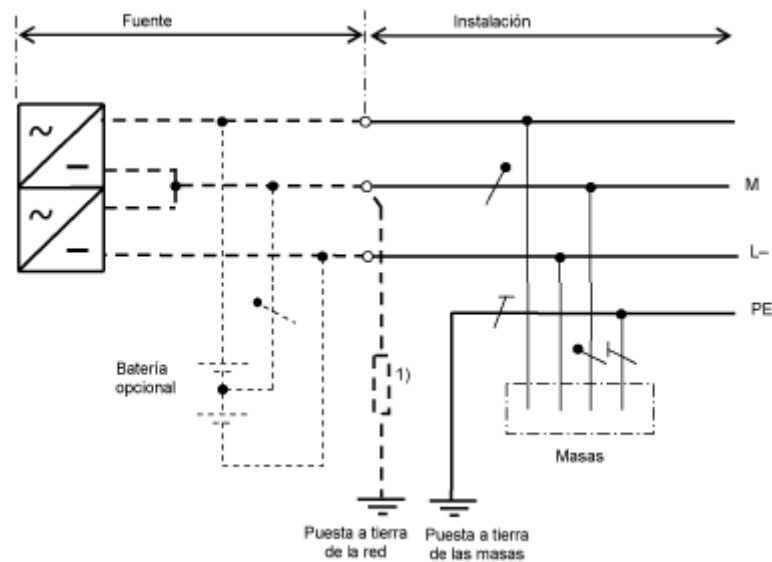


Figura 43: Esquema IT en c.c. según documento de armonización.

7.3 Tipología en BT

Como se puede observar la normativa polaca sigue estrictamente la normativa fijada por la IEC60364 y solo se desvía de la marcada en Europa en las tres normativas de 1997 y 1998 y en la instalación de la tierra/neutro en los enchufes como en algunos de sus países vecinos.

En los últimos años muchos países han establecido en una de las pocas normas de facto, que se formalizó como las normas oficiales nacionales, aunque subsisten antiguas instalaciones de cableado en desuso en la mayoría de los países. Algunos edificios tienen el cableado que ha estado en uso durante casi un siglo y que es anterior a todas las normas modernas.

Ha habido un cierto movimiento hacia la consolidación de las normas de interoperabilidad internacional. Por ejemplo, la CEE 7 / 7 enchufe ha sido adoptado en varios países europeos y es compatible tanto con conectores de tipo E y F, mientras que el enchufe europeo no polarizado es compatible con una proporción aún mayor de Europa y de otros tipos de conectores. La norma IEC 60906-1 se ha propuesto como un estándar común para todos los enchufes de 230-V y tomas de corriente en todo el mundo, pero sólo ha sido adoptado en Brasil hasta la fecha.

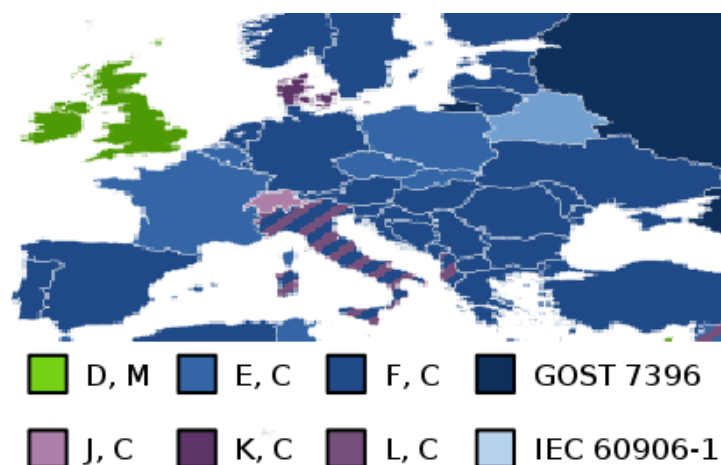


Figura 30: Tipología de BT en Europa

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



Muchos fabricantes de aparatos eléctricos como los ordenadores personales han adoptado la práctica de poner un solo conector IEC estándar en el dispositivo, y el suministro a cada país un cable de alimentación equipado con un conector IEC estándar en un extremo y un enchufe de alimentación nacionales en el otro . El propio dispositivo está diseñado para adaptarse a una amplia gama de voltajes y frecuencias.

Esto tiene la ventaja práctica de la reducción de la cantidad de pruebas requeridas para su aprobación, y reduce el número de variaciones de productos diferentes que deben ser producidos para servir y dar cobertura a los mercados de todo el mundo.

Hay dos normas básicas para el voltaje y frecuencia en el mundo. Uno de ellos es el estándar norteamericano de 110-120 voltios con una frecuencia de 60 Hz, que utiliza tapones A y B, y el otro es el estándar europeo de 220-240 voltios a 50 Hz, que utiliza tapones de C a M. Las diferencias surgió únicamente por razones históricas propias del país estado-unidense.

Países de otros continentes han adoptado una de estas dos normas de tensión, aunque algunos países utilizan las variaciones o una mezcla de normas.

Particularmente se exponen a continuación las distintas configuraciones de tierra/neutro tanto en España como en Polonia:

Tipo E (común en Polonia)

Francia, Bélgica, Polonia, República Checa, Eslovaquia y otros países se han normalizado en un socket (enchufe) que no es compatible con la norma CEE 7 / 4 socket (tipo F) estándar en Alemania y otros países de Europa continental. La razón de la incompatibilidad es, que en la toma de tierra E, es realizado por un pin ronda masculina permanentemente montado en el zócalo. Los sockets se instalan con el PIN de la tierra hacia arriba. Aunque está polarizado el enchufe, no existe un estándar para la conexión entre la fase y el neutro. El enchufe es redondo con dos clavijas redondas de medición 4,8 por 19 mm (0,189 por 0,748 pulgadas), espaciados 19 mm y además un agujero para el pin de tierra del socket.



Figura 31

Tipo C (común en España y Polonia)

Este enchufe es popularmente conocido como el enchufe europeo. El tapón es infundada y tiene dos rondas de 4 mm (0,157 in), que generalmente convergen ligeramente hacia sus extremos libres. Se describe en el CEE 7 / 16 y también se define en el estándar italiano CEI 23-5 y norma GOST de Rusia 7396. Este complemento está destinado para el uso con dispositivos que requieren de 2,5 amperios o menos. Al no estar polarizada, puede ser insertado en cualquier dirección en el zócalo, por lo que la fase y neutro están conectados al azar. La separación y la longitud de los pernos permiten su inserción segura en la mayoría de los tipo E (francés), tipo F (CEE 7 / 4 "Schuko"), del tipo H (israelí), CEE 7 / 7, tipo J (Suiza), tipo K puntos de venta (danés) y "L" (italiano). Puede ser forzado a tipo D (5 amperios) y las tomas G, sin embargo, no existe, técnicamente, ninguna razón por la fuera más peligroso que si fuera conectado a un Tipo normal de toma de C.



Figura 32

El enchufe se utiliza en aplicaciones de Clase II en toda la Europa continental (Alemania, Austria, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, República Checa, Croacia, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Groenlandia , Hungría, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Serbia, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía). También se usa en el Oriente Medio, la mayoría de las naciones de África, América del Sur (Brasil, Chile, Argentina, Uruguay, Perú y Bolivia), Asia (Bangladesh, Indonesia y Pakistán), así como Rusia y las ex repúblicas soviéticas, como Ucrania , Armenia, Georgia, y muchas naciones en desarrollo. También se usa junto con la BS 1363 en muchos países, sobre todo ex colonias británicas.

Este complemento también dispone de dos clavijas redondas, pero las clavijas son de 4,8 mm de diámetro, como los tipos E y F y el conector tiene un plástico redondo o base de goma que impide que se inserte en los enchufes pequeños destinados al enchufe europeo. En su lugar, se ajusta sólo en las tomas grandes y redondas destinadas a los tipos E y F. La base tiene agujeros para acomodar los contactos del lado de la tierra y los pernos del socket. Se utiliza para grandes aparatos, y en Corea del Sur para todos los aparatos domésticos conectados a tierra. También se define en la norma italiana CEI 23-5.

Tipo F (común en España)

El enchufe de tipo F, definido en la norma europea CEE 7 / 4 y comúnmente llamado "enchufe Schuko", es como el tipo E, salvo que tiene dos clips de puesta a tierra en los lados del enchufe en lugar de un contacto hembra. El sistema de conexión Schuko es simétrico y no polarizada por el diseño, el cual no permite que la fase y neutro puedan ser invertidos. El zócalo también acepta Europlugs y tapones. Suministra hasta 16 amperios. Se utiliza en Alemania, Austria, Bulgaria, Chile, Croacia, Estonia, Finlandia, Alemania, Grecia, Hungría, Indonesia, Islandia, Letonia, Luxemburgo, los Países Bajos, Noruega, Portugal, Rumania, Serbia, Eslovenia, Corea del Sur, España, Suecia y Turquía.



Figura 33

"Schuko" es una abreviatura de la palabra alemana Schutzkontakt, que significa "de protección (es decir, tierra) de contacto".

Tipo E / F híbrido (común en Polonia y específico en España)

Es polarizado para evitar conexiones erróneas cuando se utiliza con una salida de tipo E, pero permite la inversión de polaridad cuando se inserta en un socket tipo F.



Figura 34

El enchufe está calibrado en 16 A. Hay clips de conexión a tierra en ambos lados y una toma de contacto hembras para aceptar la clavija a tierra del enchufe de tipo E. También se utiliza en España y Portugal. Actualmente, cuando los aparatos se venden con tipo E / F se adjunta tapones. Esto significa que las salidas son idénticas entre países como Francia y Alemania, pero los enchufes son diferentes.



8. CONCLUSIONES

La normativa polaca es uno de los casos excepcionales dentro de la comunidad europea. Polonia aun perteneciendo y siendo miembro del CENELEC (comité electrotécnico europeo de normalización) no tienen un reglamento electrotécnico, como en España y un gran número de países, que les obligue a tener ciertas características técnicas en sus instalaciones. Polonia pertenece a la U.E. por lo que tendrá que transponer a su normativa, las directivas establecidas en la U.E. en todo lo relativo al sistema eléctrico, incluyendo cuestiones de calidad y seguridad del suministro de electricidad. Esto hace que en Polonia las normativa no sean de uso obligatorio ya que no están bajo un real decreto que las recoja y por tanto no reguladas por ley y en consecuencia de uso opcional y no obligatorio. Asíque las normativas polacas tienen su origen principalmente en las nomas internacionales y en los documentos de armonización europeos HD (por lo menos en lo que se refiere este proyecto).

Hay que destacar, también, que en el caso polaco las normativas son opcionales. Un instalador polaco debería irse a ellas para tener una referencia normativa para hacer una buena instalación, mientras que uno español solo se adhiere al reglamento electrotécnico de baja tensión y a las normas europeas que se puedan nombrar dentro del mismo. Esto es debido a que estas normas, y solamente estas, están reguladas por un real decreto en 2002 (año en que se actualizo). Todo lo que se diga y mencione dentro de él es de obligado cumplimiento en nuestro país. En el caso de las normativas polacas, al referirse a normas internacionales y documentos de armonización de forma regular, en ocasiones podemos encontrar que sus normas son más amplias y específicas que las españolas. Esto genera un curioso aspecto, en el cual España que tiene su reglamento, sus normas de uso obligatorio y una regulación normativa mejor hecha y con más historia, sea la normativa polaca la más amplia y en ciertos aspectos más específica y técnica que la española.

Principalmente (y por lo general ya que en ciertos aspectos no es así pudiéndolo comprobar en este proyecto), encontramos que al hacer esta comparativa nos parece hacer una comparativa entre normas europeas e internacionales cuando la hacemos entre España y Polonia; siendo paradójico que estos dos países pertenezcan y sean miembros del CENELEC. Esto es debido a que Polonia no tiene aún un reglamento electrotécnico de baja tensión, con lo que hace que Polonia haga referencias tanto a normas europeas, generalmente los documentos de armonización HD, como a normativas internacionales, haciendo el trabajo del instalador más arduo si quiere regirse por normativas y estándares técnicos de instalación. Esta situación polaca es por cuestiones históricas ya que en primer lugar esta al menos unos 20 años más atrasados que España en infraestructuras y en segundo lugar porque tiene edificios que aún conserva de su situación histórica, siempre complicada, de las guerras mundiales.

En cambio España al recoger su normativa en un reglamento solo nos referimos a normas internas ICT-BT que en muchos aspectos están basadas en las EN/UNE.

Estudio, tipología y comparativa de los esquemas de conexión a tierra entre España y Polonia [Sergio Montero Jiménez]



Más tarde haciendo la comparativa nos encontramos con diferencias en los campos de aplicación, cuatro puntos fundamentales diferenciadores en cuestiones técnicas entre normativas y por ultimo en tipología en BT; que en algunos casos, estas diferencias, solo son entre España y Polonia y en otros solo entre normas internacionales y europeas.

Los cuatro puntos fundamentales diferenciadores en cuestiones técnicas son:

- Diferencias entre las normativas en sistemas de muy baja tensión contra contactos directos e indirectos.
- Diferencias en la interrupción de la alimentación entre normativas frente a contactos indirectos y protección contra los defectos.
- Diferencias en puestas a tierra y conductores de protección
- Diferencias en los ECT's en Corriente continua C.C.

Como conclusión final podemos decir que, habiendo comparado todas las normativas referidas a Polonia y a España en el ámbito de los ECT, las diferencias son muy pequeñas en comparación a la extensa normativa comparada y que estas diferencias estriban, a mi juicio, a que los campos de aplicación son parecidos pero no exactamente los mismos.



9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

9.1. Bibliografía

- Cuadernos técnicos de Merlin-Gerin:
 - C.T.172 -V3. Esquemas de conexión a tierra.
 - C.T.173 -V3. Historia de los esquemas de conexión a tierra
 - C.T.178 –V3 (en inglés)
- Reglamento electrotécnico de baja tensión en concreto:
 - ITC-BT-8
 - ITC-BT-18
 - ITC-BT-24
 - ITC-BT-25
 - ITC-BT-26
 - ITC-BT-36
- IEC-60364. Acuerdos de puesta a tierra, conductores de protección y conductores de unión de protección en concreto:
 - IEC-60364-1
 - IEC-60364-2-21
 - IEC-60364-3
 - IEC-60364-4-41
 - IEC-60364-5-54
- PN-HD-60364-1:2010
- PN-IEC-60364-3:2005
- PN-HD-60364-4-41:2005
- PN-HD-60364-5-54:2005



9.2. Referencias

http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=4146
<http://www.electronicafacil.net/tutoriales/METODOS-MEDIR-IMPEDANCIAS-PUESTA-TIERRA.php>
http://www.realinstitutoelcano.org/wps/wcm/connect/038d93804f018639ba3bfe3170baead1/1078_Beata_Wojna_Polonia_UE.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=038d93804f018639ba3bfe3170baead1
http://www.pkn.pl/?lang=en&pid=en_strona_glowna
http://www.pkn.pl/index.php?pid=en_pkn_hist
http://www.pkn.pl/var/resources/1/1/768/Annual_Report_2007.pdf
http://www.pkn.pl/index.php?pid=en_int_cooperation
http://www.iec.ch/news_centre/onlinepubs/
<http://www.standardsinfo.net/info/livelihood/link/fetch/2000/148478/6301438/stdcat.html>
<http://www.repereelec.fr/index.php?page=nfc15-100>
<http://www.ise.pl/>